

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
ESCUELA DE POSGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
UNIDAD DE POSGRADO



“CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL MEDIO MARINO COSTERO  
PERUANO MEDIANTE INDICADORES MULTIVARIANTES”

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN INGENIERÍA  
INDUSTRIAL

AUTORA

ROSA YSABEL ADRIAZOLA CRUZ

ASESORA

DORIS GOMEZ TICERAN

Lima - Perú

2019

Dedico esta tesis a mis padres  
César Enrique y Manuela Nieves  
por su inmenso amor y  
ser los pilares de mi vida.

## Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a mi asesora de tesis, Dra. Doris Gómez Ticerán, por la dirección que ha brindado a esta investigación.

Asimismo, agradezco a los miembros del jurado por sus valiosas sugerencias.

Gracias a mi familia, a mis queridos hermanos Sonia, Enrique y Patricia.

Especialmente agradezco a mi esposo Víctor y a mis hijos Javier y Leonardo por su paciencia y comprensión.

A todos, mi sincero agradecimiento.

## INDICE

RESUMEN

SUMMARY

INTRODUCCIÓN

### CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Situación Problemática	1
1.2 Formulación del Problema	4
1.3 Justificación de la Investigación	5
1.4 Objetivos de la Investigación	6
1.4.1 Objetivo General	6
1.4.2 Objetivos Específicos	6

### CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del Problema	7
2.2 Bases Teóricas	14
2.2.1 Análisis exploratorio de datos	14
2.2.2 Distribución de probabilidad normal	14
2.2.3 Distribución normal multivariante	17
2.2.4 Evaluación del supuesto de normalidad	18
2.2.5 Análisis de varianza	21
2.2.6 Análisis factorial	23
2.2.7 Análisis de conglomerados	23
2.2.8 Prueba de hipótesis no paramétricas	23
2.2.9 Escalamiento multidimensional	24
2.3 Marco conceptual	25
2.3.1 Propiedades del agua de mar	25
2.3.1.1 Temperatura	26
2.3.1.2 Nivel medio del mar	27
2.3.1.3 Número de iones hidrógeno (pH)	28
2.3.1.4 Oxígeno	28
2.3.1.5 Fosfatos	28
2.3.1.6 Nitritos	

2.3.1.7 Nitratos	29
2.4 Hipótesis general.	29
2.5 Hipótesis específicas.	30
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	
3.1 Tipo y diseño de investigación	31
3.2 Unidad de análisis	32
3.3 Población en estudio	33
3.4 Muestra en estudio: Escenarios ambientales	33
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. Técnicas de recolección de datos	46
4.2 Análisis e interpretación de los datos del nivel superficial del mar en las estaciones de monitoreo: Talara, Paita, Lobos de Afuera, Chimbote, Chucuito, Pisco, San Juan y Matarani durante 1984 a 2015.	47
4.2.1 Análisis descriptivo: Nivel superficial del mar	47
4.2.2.1 Distribución de probabilidad del nivel superficial del mar	51
4.2.2 Análisis factorial del nivel del mar en las ocho estaciones de monitoreo en estudio.	52
4.3 Análisis e interpretación de datos del pH durante los años 2005 hasta 2012, en 25 zonas de monitoreo a lo largo del litoral peruano	59
4.3.1 Análisis exploratorio del pH en las 25 zonas de monitoreo	59
4.3.2 Distribución normal multivariada: Análisis exploratorio y confirmatorio del pH.	64
4.3.3 Test de Wilcoxon: Análisis confirmatorio para validar los estándares de calidad del pH.	66
4.3.4 Análisis clúster de los niveles de pH promedio de las 25 bahías en estudio durante los años 2005 a 2012.	67

4.4	Análisis estadístico de las concentraciones de oxígeno y nutrientes en la superficie del agua de mar frente al Callao, registro mensual durante los años 1996 a 2012.	70
4.4.1	Análisis exploratorio y ANOVA: Oxígeno disuelto	71
4.4.2	Análisis de correspondencia simple para las categorías de las variables: Oxígeno, fosfatos, silicatos, nitratos y nitritos	77
4.4.2.1	Análisis de correspondencia de las categorías de la variable oxígeno y los trimestres del año	77
4.4.2.2	Análisis de correspondencia múltiple: Categorías de las variables oxígeno, fosfatos, silicatos, nitratos, nitritos y los trimestres del año	78
4.5	Análisis estadístico de la temperatura y salinidad: BAP CARRASCO-Marina de Guerra del Perú. 15Set2011 al 15Oct2011	79
4.5.1	Distribución de la temperatura y salinidad en las distintas líneas de monitoreo, distintas profundidades y distancias. (Marina de Guerra del Perú)	80
4.6	Análisis estadístico: Datos oceanográficos del Crucero Oceanográfico Binacional-BAP CARRILLO-Marina de Guerra del Perú. 26Julio y 11 de agosto de 2014	86
4.6.1	Generalidades de las líneas de muestreo	87
4.6.2	Análisis exploratorio mediante diagrama de cajas en las 21 líneas de monitoreo: Oxígeno, temperatura, salinidad, pH, fosfatos, nitritos y nitratos.	88
4.6.3	Análisis exploratorio mediante diagramas de cajas por estación oceanográfica: Oxígeno, temperatura, salinidad, pH, fosfatos, nitritos y nitratos.	95
4.6.4	ANOVA de la variable temperatura en las estaciones de Ático, Ilo, Pisco, San Juan	103
4.6.5	Análisis de varianza multivariante permutacional: PERMANOVA	103
4.6.6	Análisis de correlación canónica: Datos registrados por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú. Año 2014.	105

CONCLUSIONES	108
RECOMENDACIONES	111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
ANEXO A	127
ANEXO B	166
ANEXO C	169

## Lista de Tablas

Tabla 1. Área de la distribución normal	16
Tabla 2. Estaciones de monitoreo: Nivel del mar. 1984 -2015.	47
Tabla 3. Medidas descriptivas de las estaciones de monitoreo.	49
Tabla 4. Matriz de Correlación.	52
Tabla 5. Test para contrastar la hipótesis que la matriz de correlaciones $R$ , es una matriz identidad.	55
Tabla 6. MSA de las variables.	55
Tabla 7. Componentes principales.	56
Tabla 8. Varianza total explicada.	57
Tabla 9. Autovalores.	57
Tabla 10. Matriz de componentes rotado.	59
Tabla 11. Medidas descriptivas del pH mínimo en las 25 zonas de monitoreo durante los años 2005-2012.	60
Tabla 12. Tabla resumen de la medidas descriptivas del pH mínimo en las 25 zonas de monitoreo durante los años 2005-2012.	61
Tabla 13. Test para contrastar la hipótesis de normalidad bivariante entre el pH mínimo y el pH máximo.	65
Tabla 14. Test de Wilcoxon para contrastar la mediana del pH mínimo.	66
Tabla 15. Test de Wilcoxon para contrastar la mediana del pH máximo.	67
Tabla 16. Zonas de monitoreo consideradas en el análisis.	68
Tabla 17. Medidas descriptivas del pH de los clúster conformados por las 25 zonas de monitoreo.	69
Tabla 18. Test de Mann-Whitney para contrastar la medianas de los clúster obtenidos.	69
Tabla 19. Análisis descriptivo de las concentraciones de oxígeno y nutrientes mensual en la superficie del agua de mar frente al Callao, 1996-2012.	70
Tabla 20. Distribución de frecuencias de la variable oxígeno en la superficie del agua de mar frente al Callao, 1996-2012.	71
Tabla 21. Test de Shapiro Wilk: Contraste de la normalidad de la variable oxígeno.	73
Tabla 22. Test para contrastar la mediana de la variable oxígeno.	74



Tabla 23. Test de Kruskal-Wallis para contrastar las medianas de la variable oxígeno en tres periodos en estudio.	76
Tabla 24. Test de Wicoxon para comparar medianas por pares de periodos de tiempo: p-valor	76
Tabla 25. Análisis descriptivo del fosfato mensual en la superficie del agua de mar frente al Callao, 1996-2012.	77
Tabla 26. Distribución de los registros de los datos en las líneas de monitoreo BAP Carrasco.	80
Tabla 27. Medidas descriptivas de la temperatura y salinidad.	81
Tabla 28. Medidas descriptivas de la temperatura y salinidad por la línea de monitoreo	81
Tabla 29. Medidas estadísticas del oxígeno, temperatura, salinidad y pH, de las 21 líneas oceanográficas frente a Pisco, San Juan, Ático e Ilo respectivamente.	88
Tabla 30. Medidas estadísticas de los fosfatos, nitritos y nitratos de las 21 líneas oceanográficas frente a Pisco, San Juan, Ático e Ilo respectivamente.	92
Tabla 31. Test de Kruskal-Wallis para contrastar las medianas de la variable temperatura en las estaciones de Ático, Ilo, Pisco, San Juan.	103
Tabla 32. PERMANOVA con las variables oxígeno, temperatura, salinidad, pH, fosfatos, silicatos, nitritos y nitratos en las estaciones de Ático, Ilo, Pisco, San Juan.	104
Tabla 33. Test para contrastar la homogeneidad de la dispersión multivariante con las variables oxígeno, temperatura, salinidad, pH, fosfatos, silicatos, nitritos y nitratos en las estaciones de Ático, Ilo, Pisco, San Juan.	104
Tabla 34. Funciones asociadas a la correlación canónica.	106

## Lista de figuras.

Figura 1. Función de densidad de probabilidad normal con media cero y varianza 1.	15
Figura 2. Área de la distribución normal:	16
(a) representa el 68.3% del área se encuentra entre -1.00 y 1.00.	
(b) representa el 95.4% del área se encuentra entre -1.995 y 1.995.	
(c) representa el 99.7% del área se encuentra entre -2.968 y 2.968.	
Figura 3. (a) Tipos de asimetría, (b) Tipo de curtosis.	19
Figura 4. Composición química del agua de mar.	26
Figura 5. Localización de la red costera de estaciones fijas que registran la temperatura del agua de mar, y donde se colectan muestras de agua para analizar las variaciones de la salinidad del mar y otros parámetros. Fuente: IMARPE.	33
Figura 6. Ubicación laboratorio costero IMARPE-Tumbes. Fuente: IMARPE.	35
Figura 7. Ubicación laboratorio costero IMARPE-Paita Fuente: IMARPE.	36
Figura 8. Ubicación laboratorio costero IMARPE-Sta. Rosa. Fuente: IMARPE.	37
Figura 9. Ubicación laboratorio costero IMARPE-Huanchaco. Fuente: IMARPE.	38
Figura 10. Ubicación laboratorio costero IMARPE-Chimbote. Fuente: IMARPE.	39
Figura 11. Toma de muestras. IMARPE-Chimbote. Fuente: IMARPE.	40
Figura 12. Ubicación laboratorio costero IMARPE-Huacho. Fuente: IMARPE.	40
Figura 13. Toma de muestras y análisis. IMARPE-Huacho.	41
Figura 14. Ubicación laboratorio costero IMARPE-Pisco. Fuente: IMARPE.	42
Figura 15. Ubicación laboratorio - costero IMARPE Camaná. Fuente: IMARPE.	43
Figura 16. Ubicación laboratorio costero IMARPE-Ilo. Fuente: IMARPE.	44
Figura 17. Análisis de datos faltantes de la variable nivel superficial del mar por estaciones de monitoreo. 1984- 2015.	48
Figura 18. Distribución espacial del nivel superficial del mar por estaciones de monitoreo. 1984- 2015.	48
Figura 19. Dinámica del nivel superficial del mar en la estación de Chucuito.	50
Figura 20. Dinámica del nivel superficial del mar en la estación de Pisco.	50
Figura 21. Q-Q plot del Nivel superficial del mar de la estación de Chucuito (1984-2015) en comparación con la distribución normal.	51

Figura 22. Q-Q plot del Nivel superficial del mar de la estación de Pisco (1984-2015) en comparación con la distribución normal	51
Figura 23. Correlaciones del nivel superficial del mar en las estaciones en estudio.1984-2015.	53
Figura 24. Mapa de calor de las correlaciones del nivel superficial del mar en las ocho estaciones en estudio. 1984-2015.	54
Figura 25. Gráfico de sedimentación.	56
Figura 26. Porcentaje de varianza de las componentes.	57
Figura 27. Correlaciones entre variables y componentes.	58
Figura 28. Correlaciones entre variables y componentes.	58
Figura 29. Estaciones de la Bahía de Calquín.	61
Figura 30. Distribución espacial del pH mínimo de las 25 zonas de monitoreo.2005-2012.	62
Figura 31. Distribución espacial del pH máximo de las 25 zonas de monitoreo.2005-2012.	62
Figura 32. Análisis exploratorio del pH mínimo en las 25 bahías en estudio y durante el periodo 2005 -2012.	63
Figura 33. Diagrama de burbujas del pH mínimo versus el pH máximo considerando las 25 zonas de monitoreo. 2005-2012.	64
Figura 34. Gráfico exploratorio de Royston asociado al test para contarstar la normalidad bivariante entre el pH mínimo y máximo. En el proceso se consideraron las 25 zonas de monitoreo durante 2005-2012.	65
Figura 35. Mapa de calor de las distancias del pH de las 25 zonas de monitoreo en estudio.	68
Figura 36. Dendrograma del pH de las 25 zonas de monitoreo en estudio.	68
Figura 37. Agrupación robusta del pH de las 25 zonas de monitoreo.	69
Figura 38. Histograma y boxplot de la variable oxígeno. Callao 1996-2012.	72
Figura 39. Función de densidad empírica de la variable oxígeno.	72
Figura 40. Q-Q plot. De la variable oxígeno.	73
Figura 41. Evolución anual del oxígeno:1996-2012.	74
Figura 42. Evolución del oxígeno por periodos de tiempo:1996-1999, 2000-2005, 2006-2012.	75
Figura 43. Función de densidad empírica del oxígeno por periodos de tiempo: 1996-1999, 2000-2005, 2006-2012.	75

Figura 44. Contribución a la dimensión 1 de los trimestres del año.	77
Figura 45. Contribución a la dimensión 1 de las categorías de la variable oxígeno	.77
Figura 46. Biplot: Visualización en el mapa de la correspondencia entre los trimestres del año y las categorías de la variable oxígeno.	78
Figura 47. Biplot: Visualización de la correspondencia entre las categorías de las variables oxígeno, fosfatos, silicatos, nitratos, nitritos y los trimestres del año.	78
Figura 48. B.A.P. Carrasco-Marina de Guerra del Perú.	79
Figura 49. Histograma de la temperatura. (b) Boxplot de la temperatura. (c) Q-Q plot de la temperatura.	80
Figura 50. (a) Histograma de la salinidad. (b) Boxplot de la salinidad. (c) Q-Q plot de la salinidad.	80
Figura 51. Distribución de la temperatura versus la profundidad del mar.	81
Figura 52. Distribución de la salinidad versus la profundidad del mar.	81
Figura 53. (a) Función de densidad empírica de la temperatura en las líneas de monitoreo en estudio. (b) Boxplot de la temperatura en las líneas de monitoreo en estudio.	82
Figura 54. Boxplot de la temperatura en las líneas de monitoreo: Callao, Chicama, Chimbote, P. Falsa, Paita y San Juan.	82
Figura 55. Distribución de la temperatura de acuerdo con la longitud y latitud según las líneas de monitoreo: Callao, Chicama, Chimbote, P. Falsa, Paita y San Juan.	83
Figura 56. Distribución de la temperatura de acuerdo con la longitud y la estación según las líneas de monitoreo: Callao, Chicama, Chimbote, P. Falsa, Paita y San Juan.	84
Figura 57. (a) Función de densidad empírica de la salinidad en las líneas de monitoreo en estudio. (b) Boxplot de la salinidad en las líneas de monitoreo en estudio. Las líneas de monitoreo corresponden al Callao, Chicama, Chimbote, P.Falsa, Paita y San Juan respectivamente.	84
Figura 58. Diagrama de cajas de la salinidad en el Callao, Chicama, Chimbote, P. Falsa, Paita y San Juan respectivamente.	85
Figura 59. Distribución de la salinidad de acuerdo con la longitud y latitud según las líneas de monitoreo: Callao, Chicama, Chimbote, P. Falsa, Paita y San Juan.	85
Figura 60. Distribución de la salinidad de acuerdo con la longitud y la estación según las líneas de monitoreo: Callao, Chicama, Chimbote, P. Falsa, Paita y San Juan.	86

Figura 61. BAP CARRILLO Marina de Guerra del Perú. tiene como misión efectuar los trabajos de Investigación Científica relacionados con la Hidrografía, Oceanografía, Meteorología Marítima, Señalización Náutica y Prospección Magnética en el ámbito del litoral, en coordinación con los órganos de línea de la Dirección de Hidrografía y Navegación.	86
Figura 62. Veintiún estaciones oceanográficas de las secciones de Pisco, San Juan, Ático e Ilo.	87
Figura 63. Box plot del oxígeno disuelto en las secciones de Pisco, San Juan, Ático e Ilo.	89
Figura 64. Boxplot del oxígeno disuelto en las secciones de Pisco, San Juan, Ático e Ilo: Especificación de outlier.	89
Figura 65. Boxplot de la temperatura en las secciones de Pisco, San Juan, Ático e Ilo.	90
Figura 66. Boxplot de la salinidad en las secciones de Pisco, San Juan, Ático e Ilo.	91
Figura 67. Boxplot del pH en las secciones de Pisco, San Juan, Ático e Ilo.	92
Figura 68. Boxplot del fosfato en las secciones de Pisco, San Juan, Ático e Ilo.	93
Figura 69. Boxplot del nitrito en las secciones de Pisco, San Juan, Ático e Ilo.	94
Figura 70. Boxplot del nitrato en las secciones de Pisco, San Juan, Ático e Ilo.	94
Figura 71. Registro del oxígeno por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.	95
Figura 72. Evolución del oxígeno por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.	95
Figura 73. Outlier (7.55) en estación oceanográfica de Ático. Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.	96
Figura 74. Outlier (4.3) en estación oceanográfica de Ilo. Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.	96
Figura 75. Registro de la temperatura por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.	97
Figura 76. Boxplot de la temperatura por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.	97
Figura 77. Registro de la salinidad por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.	98

Figura 78. Evolución de la salinidad por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.	98
Figura 79. Registro del pH por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.	99
Figura 80. Evolución del pH por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.	99
Figura 81. Registro de los fosfatos por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.	100
Figura 82. Evolución del fosfato por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.	100
Figura 83. Registro de los nitritos por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.	100
Figura 84. Evolución del nitrito por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.	101
Figura 85. Registro de los nitratos por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.	102
Figura 86. Evolución del nitrato por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.	102
Figura 87. Marco de datos con coordenadas NMDS (escalamiento multidimensional no métrico): Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.	105
Figura 88. Matrices de correlación para: Las variables en X, las variables en Y, la correlación cruzada X x Y. Las correlaciones inversas son representadas con color azul y las correlaciones directas con color rojo, la no presencia de correlación con color verde.	106
Figura 89. Representación de las correlaciones canónicas mediante un diagrama de barras.	107
Figura 90. Variables (lado izquierdo) y las unidades de análisis (lado derecho) representadas sobre el plano definido por las dos primeras variables canónicas.	107

## Resumen

El medio marino está conformado por una inmensa cantidad de organismos y ambientes que contribuyen a la riqueza biológica y ecológica que están en permanente modificación en el tiempo y espacio, por la actividad humana o natural asociada a la existencia y desarrollo de la vida. Para cumplir con el propósito de caracterizar el medio marino costero peruano mediante métodos estadísticos multivariantes, se realizó la construcción de bases de datos con información de la temperatura, salinidad, pH y de parámetros químicos registrados en las zonas de monitoreo del Instituto del Mar del Perú y, de la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú. Con estas bases de datos, se realizó el análisis exploratorio de los datos univariante y multivariante principalmente para identificar outliers, y observar si los datos seguían una distribución normal lo cual permitió decidir por métodos confirmatorios paramétricos o no paramétricos. El análisis multivariante incluyó el análisis factorial, análisis clúster, análisis de correspondencia, PERMANOVA y el análisis de correlación canónica realizados con el soporte del software R y cuyos resultados han permitido realizar una caracterización holística de la calidad del medio ambiente marino peruano.

Palabras Clave: Medio marino, indicadores multivariantes, análisis exploratorio de datos, variables.

## **Abstract**

The marine environment is made up of an immense quantity of organisms and environments that contribute to the biological and ecological richness that are in permanent modification in time and space, by human or natural activity associated with the existence and development of life. In order to fulfill the purpose of characterizing the Peruvian coastal marine environment through multivariate statistical methods, the construction of databases with information on temperature, salinity, pH and chemical parameters recorded in the monitoring areas of the Instituto del Mar del Perú was carried out. and, of the Direction of Hydrography and Navigation of the Navy of Peru. With these databases, an exploratory analysis of the univariate and multivariate data was carried out mainly to identify outliers, and to observe if the data followed a normal distribution, which allowed to decide by parametric or non-parametric confirmatory methods. The multivariate analysis included the factorial analysis, cluster analysis, correspondence analysis, PERMANOVA and the canonical correlation analysis carried out with the software R support and whose results have allowed a holistic characterization of the quality of the Peruvian marine environment.

**Key words:** Marine environment, multivariate indicators, exploratory data analysis, variables.



## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Situación Problemática**

Los mares y océanos son reguladores esenciales del clima terrestre y constituyen una gran fuente de recursos naturales y biológicos, son considerados sistemas que continuamente reciclan sustancias químicas, nutrientes y agua. Durante millones de años los mares que aproximadamente cubren el 70% de la superficie terrestre, han cumplido el rol de almacén depurador, haciendo posible la vida en la tierra. El agua del mar se eleva por efecto de la evaporación, se condensa en las nubes y el viento se encarga de transportar a tierra firme en forma de lluvia depurada.

Se afirma que la mitad de la población mundial vive a menos de 100 kilómetros del mar y se estima que en el año 2025 sea del 75%; esto paralelamente con el hecho que tres de cada cuatro grandes ciudades están próximas a la costa. Además, se tiene conocimiento de la sobreexplotación de los recursos de los océanos, exponiendo el equilibrio del planeta. Se ha evidenciado un aumento de la temperatura del mar superando lo esperado que es una consecuencia de la disminución de oxígeno, lo cual implica una pérdida de su capacidad de soportar biomasa; es decir, genera daños en la vida marina; además es causa de la proliferación de bacterias patógenas relacionadas con el aumento de enfermedades como la gastroenteritis, infecciones en la sangre y el cólera. Diversos estudios demuestran que en los últimos tres siglos se ha acelerado la degradación en particular en las zonas costeras y se puede encontrar islas de basura y microplásticos flotando y siendo arrastradas por las corrientes. En la investigación, titulada “Funciones del alta mar e impactos antropogénicos” (2017), se analizó el papel fundamental de los océanos en el funcionamiento del planeta y advierten que se requiere establecer una protección legal de las aguas

internacionales que permita asegurar su protección y su sostenibilidad. El estudio puntualiza que se ha intensificado el conocimiento sobre la función de los océanos, sin embargo la predicción sobre el impacto del cambio climático en los ecosistemas marinos y la vida humana no es una tarea sencilla debido a lo complejo y diverso del sistema oceánico y se enfatiza que existe la necesidad de una "documentación detallada previa a la explotación". Además, se señala que "el porcentaje de poblaciones de peces que se extraen a niveles insostenibles ha aumentado a más del 30% y, con los efectos del cambio climático, se estima que la producción de pescado disminuya en latitudes medias y bajas". Llegaron a estas conclusiones cuando se realizaban negociaciones en la ONU en Nueva York del 28 marzo al 8 abril de 2016, con el fin de acordar un nuevo tratado sobre la conservación de la biodiversidad en alta mar. Un estudio realizado por científicos de la Universidad de Oxford presentado en la ONU (2017), señalan que "algunas regiones están alcanzando un estado ecológico crítico debido a los cambios climáticos derivados de la actividad humana, y en concreto de la contaminación, la explotación pesquera y la extracción minera". En este contexto, el profesor en Conservación Biológica de la Universidad de Oxford, Alex David Rogers señala que: "Hay pruebas más que suficientes para demostrar que la alta mar es una parte vital de la salud del océano y que necesita una protección rigurosa para asegurar que pueda seguir ofreciendo servicios fundamentales por el beneficio de nuestro planeta. Ahora el reto científico es trabajar con más velocidad, volumen y coordinación para ser capaces de modelar los cambios potenciales debidos al cambio climático y otras influencias humanas que seguramente nos afectará a todos". De otro lado, Peggy Kalas (2017), coordinadora de High Seas Alliance, aseguró en un comunicado: "Necesitamos establecer urgentemente una gobernanza colectiva para poder gestionar la alta mar de forma correcta, y tenemos que aplicar el principio de precaución para asegurar actividades humanas sostenibles". Leyes europeas unilaterales y en muchos casos derivadas de los convenios internacionales en defensa del medio marino establecen que su calidad depende principalmente de:

1. Usar en forma sostenible la riqueza del medio marino que es de interés general.
2. Resguardar el medio marino, abarcando su biodiversidad, como medida de precaución de su deterioro y rescatar los ecosistemas marinos en las zonas afectadas negativamente.
3. Advertir y disminuir los vertidos al medio marino, con el propósito de eliminar gradualmente su contaminación, y que no se produzcan impactos graves para

la biodiversidad marina, los ecosistemas marinos, el bienestar humano o el aprovechamiento permitido del mar.

4. Asegurar que las actividades y usos en el medio marino guarden concordancia con la protección de su biodiversidad.

Por ello se señala la importancia de estudiar las siguientes características:

- Sistema anual y estacional de temperaturas.
- Ámbito de las corrientes, afloramientos.
- Exposición al oleaje.
- Turbidez.
- Comportamiento espacial y temporal de la salinidad.
- Comportamiento espacial y temporal de los nutrientes y del oxígeno.
- Perfiles de pH o una medida equivalente de acidificación marina.

En el Perú, el mar peruano o también llamado Mar de Grau es uno de los de mayor biodiversidad en el planeta, y posee servicios ecosistémicos, de importancia regional y mundial lo que le da ventajas comparativas en relación con la biodiversidad, pero también una alta responsabilidad en relación con la globalización de la problemática ambiental. Así, como contamos con potencialidades, existen problemas ambientales que lo afectan en particular, debido a diversas fuentes entre las que destacan las domésticas, industriales, pesqueras y de la siderúrgica. La presente investigación realizará un análisis univariante y multivariante con la información obtenida principalmente del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) y, de la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (DHN), consideradas líderes en la investigación científica y tecnológica de los ecosistemas marinos, que mediante operaciones en el mar recopilan información oceanográfica, biológica y pesquera. Todo este proceso involucra la generación de base de datos con las mediciones de la temperatura superficial del mar, oxígeno y nutrientes; que se constituye en la infraestructura necesaria para llevar a cabo el análisis exploratorio mediante: diagramas de cajas para observar la presencia principalmente de outliers (datos discordantes), gráficos de dispersión y gráficos de probabilidad normal como soporte para decidir respecto a los métodos estadísticos confirmatorios como el ANOVA (Analysis of Variance) y la elección de los métodos multivariantes que permitan la construcción de indicadores multivariantes. Esta investigación involucra a

la Ingeniería Industrial que es una ciencia que cubre un amplio abanico temático de conocimientos que le permite su integración con otras ciencias como la Estadística lo cual permite la generación de nuevos conocimientos, es en este contexto que se tiene como propósito realizar una caracterización holística de la calidad del medio marino costero peruano mediante indicadores construidos en base a métodos estadísticos multivariantes.

## **1.2 Formulación del Problema**

La caracterización de la calidad del medio marino peruano implica abordarlo multifactorialmente y la presente investigación propone realizar una caracterización holística en base a la construcción de indicadores obtenidos a través de métodos estadísticos multivariantes integrando los parámetros monitoreados por IMARPE, que realiza este proceso mediante cruceros de investigación y operaciones en el mar haciendo uso de sus buques de investigación científica como el BIC/Humboldt, BIC/José Olaya Balandra, BIC/Luis Flores y otras embarcaciones de menor calado para la zona costera y que además cuenta con una red de diez estaciones oceanográficas costeras, dedicadas a registrar datos de temperatura y salinidad superficial del mar además de otros parámetros océano-atmosféricos. Además, de los datos obtenido por DHN de la Marina de Guerra del Perú. En este escenario se plantea el siguiente problema:

¿Cómo caracterizar holísticamente la calidad del medio marino costero peruano haciendo uso de los métodos estadísticos multivariantes?

### **Problemas específicos**

1. ¿Como estructurar las bases de datos de las variables más importantes asociadas a la calidad del medio marino costero peruano?
2. ¿A través del análisis exploratorio de datos, se descubrirá patrones de comportamiento de las variables asociadas a la calidad del medio marino costero peruano?
3. ¿La aplicación de métodos estadísticos multivariantes, permitirán obtener indicadores asociados a la calidad del medio marino costero peruano?

### 1.3 Justificación de la Investigación

**Justificación técnica.** Se debe incrementar investigaciones multidisciplinarias relacionadas a los espacios del mar peruano que permitan la generación de nuevos conocimientos fidedignos y oportunos, con la participación de profesionales calificados de las ciencias básicas. Principalmente para analizar los efectos del cambio climático en el calentamiento de los océanos.

**Justificación legal.** El estudio de los espacios marítimos que conforman el mar peruano está a responsabilidad del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), de acuerdo con lo establecido en el Decreto Legislativo N° 95, en el que se señala que “IMARPE es una entidad pública tiene por finalidad realizar investigaciones científicas y tecnológicas del mar y de las aguas continentales y de los recursos de ambos, así como las investigaciones oceanográficas y limnológicas de la calidad del ambiente acuático”.

**Justificación económica.** El Perú, es uno de los países sudamericanos que menos cuida su mar, lo señala el Índice de Salud de los Océanos, una herramienta que ofrece un marco general para integrar aspectos ambientales, sociales y económicos de los beneficios que los humanos derivamos del océano. Se debe sensibilizar a la población desde la edad escolar sobre como el mar es una fuente económica importante dado que es un elemento vital en la cadena productiva y valorar su potencial en la alimentación. Asimismo, debe educarse sobre la importancia de la conservación de los océanos a las personas dedicadas al mar y que puedan poner en aplicación lo aprendido.

**Justificación ambiental.** El Perú, por sus recursos marinos es uno de los países con mayor biodiversidad en el planeta, donde se encuentran ecosistemas marinos reconocidos a nivel mundial por su altísima diversidad de especies, como el mar frío de la Corriente Peruana, que no son ajenos a la contaminación, la cual genera consecuencias adversas sobre las poblaciones humanas, al ecosistema marino y al turismo; que van desde la reducción de la seguridad alimentaria hasta un mayor empobrecimiento por la desaparición de recursos marinos.

Esta investigación propone caracterizar la calidad del medio marino peruano mediante indicadores estadísticos multivariantes a partir de los datos proporcionados por IMARPE y de esta manera sentar una base científica de la caracterización propuesta y proseguir en esta línea de investigación.

## **1.4 Objetivos de la Investigación**

**1.4.1 Objetivo General.** En el contexto de la Evaluación de Desempeño Ambiental del Perú, así como de los Objetivos de Desarrollo Sostenible hacia el 2030, la presente investigación tiene como objetivo: Caracterizar holísticamente la calidad del medio marino peruano mediante indicadores, obtenidos con métodos estadísticos multivariantes.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Estructurar bases de datos de las principales variables asociadas a la calidad del medio marino costero peruano.
- Descubrir patrones de comportamiento de las variables asociadas a la calidad del medio marino costero peruano, mediante el análisis exploratorio de datos.
- Construir indicadores asociados a la calidad del medio marino costero peruano mediante métodos estadísticos multivariantes.

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes de investigación**

El cuidado del medio ambiente marino, es uno de los temas de mayor interés en la actualidad y se sostiene que la vida en nuestro Planeta se originó gracias a los océanos, esto lo señalan los “investigadores del Laboratorio de Propulsión a Chorro y el Instituto de Astrobiología de la NASA quienes describen como la energía eléctrica producida de forma natural en el fondo del mar pudo haber dado origen a la vida en la Tierra hace 4.000 millones de años”, tiempo durante el cual se han producido diversos cambios en su composición, extensión y organismos que los han poblado. Por ello, es que las zonas costeras son las áreas más pobladas del mundo. Los océanos cumplen también la función de pulmón de la humanidad gracias al fitoplancton, plantas y algas marinas que contribuyen al intercambio atmosférico de 200000 millones de toneladas de dióxido de carbono y a la creación de la capa de ozono que nos sirve de protección frente a los rayos ultravioleta; y mediante la evaporación del agua de los océanos se producen las descargas que generan los ríos, lagos y los restantes ecosistemas cruciales para la vida en el planeta. En los últimos años, la Comunidad Europea presta gran interés a la contaminación, la conservación y al control del medio ambiente terrestre y marino debido al aumento, en las últimas décadas, de la presión antropogénica sobre los ecosistemas marinos. En relación a nuestro país, cuenta con una línea costera con una extensión de 3079.50 kilómetros comprendido entre la frontera con la República del Ecuador y la frontera con la República de Chile, registra características especiales por la existencia de una singular biomasa de plancton, fitoplancton, una considerable variedad y cantidad de mamíferos, moluscos y crustáceos y especies de flora y fauna marina que son factores que posibilitan la gran productividad biológica que se opera en el Mar del Perú y sus consecuencias para la pesca, industria y el equilibrio ecológico. Esto nos debe conducir a poner atención, a las actividades de la industria y

agricultura que generan consecuencias adversas en el medio marino debido a la sobreexplotación del recurso pesquero de manera no sostenible, la explotación minera, la creación de industrias de explotación submarina de petróleo y gas, la urbanización de las costas y el cambio climático a causa del sobrecalentamiento de la tierra. En el contexto mundial, una investigación llevada a cabo en el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA, junio 2018) mediante técnicas nucleares señala que en particular los niveles de plomo y mercurio en el mar se han disminuido notablemente después de adoptar medidas específicas para limitar su liberación. En países como Alemania, resultados de sus investigaciones señalan que, “en un período de 10 a 15 años, tras la eliminación progresiva hacia 1996 de la presencia de plomo en la gasolina, disminuyeron los niveles de contaminación por plomo en el mar. Los científicos del OIEA reconocen que es posible que no todos los niveles de contaminantes disminuyan tan rápido, pero los resultados de adoptar medidas concretas como la obligación de utilizar gasolina sin plomo son evidentes”.

Entre los trabajos que guardan cierta concordancia con el presente estudio se tiene los que se refieren a continuación:

**Peña, C. (2015).** Diseño y aplicación de indicadores de vulnerabilidad y calidad para playas y dunas de Canarias: Una propuesta metodológica. En esta tesis doctoral se analiza la vulnerabilidad de las dunas costeras en Canarias, considerando el “Manual de restauración de dunas costeras”, con el propósito de valorar la vulnerabilidad geomorfológica de las playas en Canarias, y estudió las interacciones entre los elementos naturales y sociales, teniendo en cuenta la complejidad de las mismas y las incertidumbres que ella genera; para ello definió escenarios y realizó procesos de simulación para detectar las consecuencias de los cambios de los escenarios planteados con el fin de construir un indicador y determinar su comportamiento ante ciertos cambios. Además, se aplicaron métodos estadísticos univariantes, bivariantes y multivariantes.

**Gómez, F. (2015).** Evaluación del estado de eutrofización del mar Alborán (España) mediante el empleo combinado de imágenes de satélite y de muestreos in situ. En esta tesis doctoral se empleó el análisis multivariante mediante el análisis clúster no jerárquico de k-medias sobre los promedios mensuales de la concentración superficial



de clorofila registrada desde satélite ha permitido delimitar las áreas del mar de Alborán que presentan características contrastantes en cuanto a su ciclo anual de clorofila. Se determinó que la concentración de los nutrientes y la salinidad han aumentado considerablemente en las aguas intermedias del norte del mar Alborán en las dos últimas décadas y mediante los modelos aditivos generalizados (GAM) se identificaron las características con mayor influencia sobre la concentración de clorofila.

**Jacinto, M. (2014). Propuesta de un sistema de indicadores ambientales y socio económicos en la zona marino-costera de Pisco – Paracas.** Esta tesis de maestría realiza un diagnóstico principalmente de las características ambientales del área marino costera de Pisco-Paracas con el objetivo de contribuir a determinar el estado de la calidad del medio marino mediante métodos univariantes de los parámetros físicos químicos del agua, sino que estos resultados deben permitir alertar sobre el desarrollo de eventos anómalos que permita tomar medidas preventivas y establecer el uso de indicadores que brinden información respecto al grado de impacto en el ecosistema.

**Rojas, P. (2013). La expresión del cambio global en las variables físico-químicas del medio marino regional y su impacto en los ecosistemas marino-costeros colombianos.** Esta tesis de maestría desarrolla el estudio de las tendencias de largo plazo, que constituyen la expresión regional de los fenómenos globales, calentamiento y acidificación del océano con base en el análisis de datos de temperatura superficial del mar (TSM) y de pH en sectores marino-costeros del mar Caribe y el océano Pacífico colombianos. Mediante el análisis se evidenció un incremento en la TSM, que en el Caribe es del orden de 0.23°C/decenio y en el Pacífico de 0.18°C/decenio. Además, encontraron que el pH disminuyó de -0.071 unidades/decenio y 0.090 unidades/decenio, para el Caribe y el Pacífico, respectivamente. Mediante el análisis de regresión no lineal obtuvieron una estimación para finales del siglo XXI en base a la cual afirman que la TSM aumentaría hasta 2°C en relación con la observada a comienzos de siglo en los sectores analizados del Caribe y el Pacífico.

**Soriano, M. (2013). Análisis de la evaluación e interrelación de los parámetros de calidad de las masas de agua de una cuenca. (Zona Media de la cuenca Hidrográfica**

del Guadiana). Esta tesis doctoral evalúa los parámetros de calidad en las principales masas de agua de la Cuenca Hidrográfica de Guadiana, donde se encuentran los embalses de La Serena (3219 Hm<sup>3</sup>) y el de Cijara (1505 Hm<sup>3</sup>). Se han analizado diferentes bases de datos de las características físico-químicas, las características químico-biológicas y bacteriológicas. Los resultados del análisis evidencian relaciones entre los diferentes parámetros de calidad de un mismo embalse y lo mismo sucede entre los diversos parámetros de diferentes embalses permitiendo la estimación de un parámetro de un embalse distinto de la misma cuenca. Además, propone realizar un estudio entre masas de agua de cuencas diferentes, con el objetivo de determinar la existencia de interrelaciones de los parámetros de calidad.

**Vásquez, F. (2010). Evaluación del índice de calidad del agua en el área de influencia del botadero municipal de Tarapoto sector Yacucatina San Martín – Perú.** Esta tesis presenta el análisis según las normas internacionales para la caracterización de la calidad del agua (APHA-AWWA-WPCF, 1992) las cuales se encuentran incluidas en los denominados “Métodos normales para el examen de las aguas y Aguas residuales “(Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater) y los Estándares de Calidad para Aguas (ECA), establecidos en la Ley de recursos hídricos y las normas técnicas peruanas de INDECOPI referido a calidad del agua. Se concluyó que todos los puntos muestreados tienen contaminación por coliformes totales y coliformes termotolerantes dado que no se encuentran enmarcados en los estándares de calidad para aguas.

**Martínez, B. (2007). Características y estado de conservación de los pastos marinos en áreas de interés del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba.** En esta tesis se caracterizó y evaluó el estado de conservación de los pastos marinos en áreas de interés conservacionista del Archipiélago Sabana-Camagüey en el periodo 2001-2003, considerando variables descriptivas de las angiospermas marinas, de la estructura del macrofitobentos y abióticas para conocer las causas de su afectación. Las áreas estudiadas fueron las bahías de Cárdenas, Santa Clara, Buena Vista, de Perros, Jigüey, La Gloria y Nuevitas, así como algunas lagunas arrecifales. Los pastos marinos mejor conservados se encontraron en las zonas con mayor intercambio con el océano, destacándose las lagunas arrecifales. La estructura del macrofitobentos estuvo

modulada por los mismos factores que afectan el desarrollo de las angiospermas, con una riqueza específica menor donde está deteriorado el hábitat.

**Rey, C. (2006). Internalización de los costes ambientales generados por el uso del agua a través de instrumentos fiscales. Aplicación a la comunidad Foral de Navarra.** El objetivo principal de esta tesis doctoral está en analizar las posibilidades de la utilización de los tributos como instrumento para incentivar un consumo y uso responsable del agua desde el sector público, apoyándose en el uso de herramientas de valoración económica de los recursos naturales. La investigación se centra en las tarifas y gravámenes que configuran actualmente el precio actual del recurso para los bienes y actividades relacionados con el ciclo completo del agua, asimismo se pretende verificar la respuesta de la población a la aplicación de tributos ambientales.

**Coelho, C. (2005).** Forecast Calibration and Combination: Bayesian Assimilation of Seasonal Climate Predictions. Esta tesis de doctorado propone una metodología que la desarrolla en tres etapas. En una primera etapa realiza un análisis empleando estadística bayesiana para mediante un modelo obtener pronósticos estacionales en América del Sur. En una segunda etapa valida el modelo mediante la estimación del clima en Sudamérica durante los eventos “El Niño, Oscilación del Sur” (ENSO). En la etapa final, construye índices de la precipitación (meses de diciembre, enero y febrero 1959-2001), para tres regiones de América del Sur. La metodología utilizada es considerada una herramienta poderosa para los pronósticos realizados con una base probabilística.

**Jiménez, M. (2005).** Aplicación de análisis multivariante para la obtención y estandarización de esfuerzos pesqueros en pesquerías multiespecíficas. Las pesquerías demersales del golfo de Cádiz. En esta tesis doctoral se ha realizado una clasificación objetiva de los desembarcos realizados según los tipos de mareas mediante técnicas de análisis multivariantes. Esta clasificación, por su parte, ha constituido la base para la definición de la matriz de esfuerzos específicos a través de la selección exclusiva de aquellos tipos de mareas en los que se detectó una orientación del esfuerzo para capturar las diferentes especies objetivo. La importancia de obtener estos nuevos esfuerzos específicos más reales ha permitido estimar índices de capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) más estrechamente relacionados con la abundancia de estos recursos. Además, la clasificación para la obtención de los diferentes componentes de

flota ha sido el inicio para la profundización en el conocimiento del patrón de explotación y las estrategias de pesca de esta flota. Esto ha permitido el diseño de muestreo mediante el seguimiento de estos componentes y simplificar el trabajo que conlleva el control de una pesquería de estas características, tan compleja por su diversidad y por el elevado volumen de información que genera. Los resultados de este proyecto de investigación han contribuido a incrementar el conocimiento de la estructura y la dinámica de las flotas que explotan la pesquería demersal suratlántica, aportando los elementos necesarios para modelar las posibles interacciones técnicas entre métiers.

**Garrido, M. (2002).** Criterios de Calidad Ambiental: Aplicación a Aguas Limitadas del Golfo de Cádiz. Esta tesis de doctorado fundamentalmente realizó una evaluación ambiental basándose en parámetros físicos-químicos y mediante métodos estadísticos. Se realizó una clasificación de las aguas litorales en función del grado de calidad de las aguas mediante el análisis clúster. En términos generales se llega a la conclusión que si bien las normativas de calidad de aguas proporcionan un nivel base de protección, una vez éstas definidas es preciso obtener los criterios de calidad ambiental mediante niveles guía y normas químicas y considerando las particularidades de cada área limitada del litoral. Se ha determinado los criterios de calidad ambiental en función de los niveles de fondo de los compuestos en el medio natural, y en función de criterios ecotoxicológicos. Además, propone como investigación futura orientar los ensayos estándares a condiciones más reales al objeto de obtener un óptimo nivel de protección en función de las normas obtenidas a partir de los resultados ecotoxicológicos, y realizar ensayos de la ecotoxicidad con especies autóctonas o residentes en estas aguas, y considerar como variable de ensayo, las condiciones naturales de estos cuerpos de agua como son los nutrientes, contenido de compuestos contaminantes, entre otros.

## **2.2 Bases Teóricas**

2.2.1 Análisis exploratorio univariante de datos (AED). Es un conjunto de procedimientos estadísticos, básicamente gráficos, que permite observar las principales características de la distribución de las variables en estudio (temperatura, oxígeno disuelto, pH entre otras variables) como la forma de su distribución y

presencia de outliers. En la investigación el AED se realizará como una etapa previa al análisis confirmatorio para decidir la metodología estadística a utilizar.

### 2.2.2 Distribución de probabilidad normal.

Distribución normal. Una de las distribuciones de probabilidad más importante en la práctica es la distribución de probabilidad normal. Su importancia radica fundamentalmente por la frecuencia con la que distintas variables asociadas a fenómenos naturales se aproximan a esta distribución. Diversas áreas del saber requieren validar el supuesto de normalidad para elegir el método estadístico apropiado. Mediante el análisis exploratorio de datos se identifica el patrón de comportamiento, sin embargo una prueba estadística confirmatoria permite de un modo más riguroso, decidir si la muestra en estudio procede de un modelo normal. Si los datos no siguen una distribución normal, se debe considerar la alternativa de los métodos no paramétricos.

**Definición.** Una variable aleatoria continua  $X$ , tiene distribución de probabilidad normal si su función de densidad de probabilidad está dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, -\infty < x < \infty, -\infty < \mu < +\infty, \sigma > 0$$

Entonces,  $X$  sigue una distribución normal con media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$ , que son los parámetros que determinan la curva en forma de campana, con  $\pi = 3.14159$  y  $e = 2.71828$ . La siguiente figura es una representación gráfica del modelo normal.

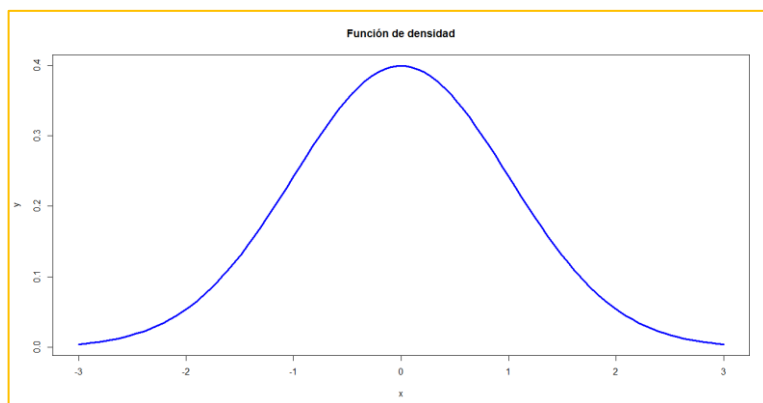


Figura 1. Función de densidad de probabilidad normal con media cero y varianza 1.

Notación:  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ , se lee “ $X$  tiene una distribución normal con media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$ ”.

En la distribución normal destacan las siguientes propiedades:

- El área total bajo la curva es igual a 1.
- Es simétrica respecto de su media.
- La media, mediana y moda son idénticas.
- La distancia entre la recta  $x = \mu$  y el punto de inflexión de la curva es igual a  $\sigma$ .
- La distribución normal constituye una “familia de distribuciones”, puesto que para cada valor de  $\mu$  y  $\sigma$  existe una distribución de probabilidad diferente.
- La curva de la distribución normal se extiende en todo  $\mathfrak{R}$ .

**Tabla 1**

*Área de la distribución normal*

<b>Intervalo</b>	<b>Área</b>
$\mu - \sigma$ y $\mu + \sigma$	Aproximadamente 68.3% del área
$\mu - 2\sigma$ y $\mu + 2\sigma$	Aproximadamente 95.4% del área
$\mu - 3\sigma$ y $\mu + 3\sigma$	Aproximadamente 99.7% del área

Fuente: Elaboración propia

Gráficamente:

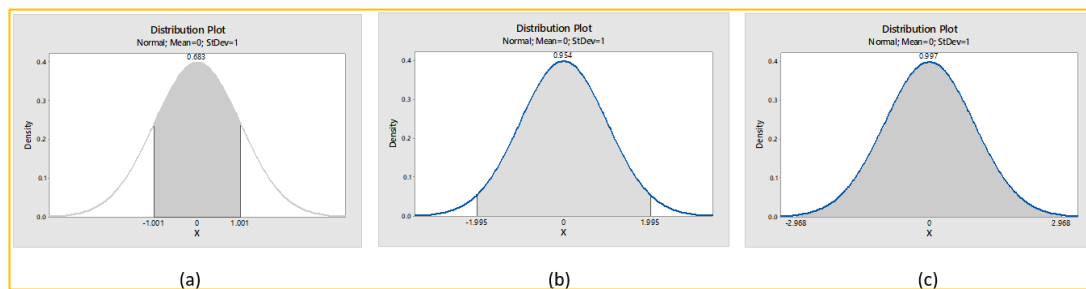


Figura 2. Área de la distribución normal:

- (a) representa el 68.3% del área se encuentra entre -1.00 y 1.00.
- (b) representa el 95.4% del área se encuentra entre -1.995 y 1.995.
- (c) representa el 99.7% del área se encuentra entre -2.968 y 2.968.

### 2.2.3 Distribución normal multivariante (Enfoque clásico).

Así como la distribución normal juega su rol en el caso univariante, la distribución normal multivariante juega un papel importante en algunos procedimientos multivariantes, a pesar de que muchos análisis multivariantes se llevan a cabo solo con el espíritu de la exploración de datos donde las preguntas referentes a la distribución de probabilidad no tienen mayor importancia.

Sin embargo, los investigadores que tratan con la complejidad de datos multivariantes necesitan saber sobre la función de densidad normal multivariante y, en especial, cómo evaluar si los datos tienen un comportamiento multinormal debido a que diversos fenómenos reales se ajustan a este modelo multivariante.

**Definición.** Distribución normal multivariante.

Un vector aleatorio  $\vec{X} = (X_1, X_2, \dots, X_p)^t$  de  $p$  componentes que toma valores  $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_p)^t$  en  $R^p$  (espacio euclidiano de dimensión  $p$ ), se dice que tiene distribución normal  $p$  variante si su función de densidad de probabilidad es la siguiente:

$$f_X(\vec{x}) = f(\vec{x}) = (2\pi)^{-p/2} \det(\Sigma)^{-p/2} \exp\{-(\vec{x} - \vec{\mu})^t \Sigma^{-1} (\vec{x} - \vec{\mu})\}$$

donde  $\vec{\mu} = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p)^t \in R^p$  y  $\Sigma$  es una matriz simétrica definida positiva de orden  $p \times p$ .

En lo que sigue, cuando se trata de un vector aleatorio siempre será un vector real a menos que se señale lo contrario. Dado que  $\Sigma$  es una matriz definida positiva,  $\{(\vec{x} - \vec{\mu})^t \Sigma^{-1} (\vec{x} - \vec{\mu})\} \geq 0$ , para todo  $\vec{x} \in R^p$  y  $\det(\Sigma) > 0$ ; por lo tanto  $f_X(\vec{x}) \geq 0$  para todo  $\vec{x} \in R^p$ .

**Definición.** Si el vector aleatorio  $\vec{X} = (X_1, X_2, \dots, X_p)^t$  tiene distribución normal multivariante con función de densidad de probabilidad  $f_X(\vec{x})$ , entonces los parámetros  $\vec{\mu} = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p)^t$  y  $\Sigma$  son la esperanza matemática,  $E(\vec{X}) = \vec{\mu}$  y la matriz de varianzas y covarianzas,  $E(\vec{X} - \vec{\mu})(\vec{X} - \vec{\mu})^t = \Sigma$ .

**Definición.** Si  $\vec{X} = (X_1, X_2, \dots, X_p)^t$  tiene distribución normal multivariante con función de densidad de probabilidad  $f_X(\vec{x})$ , el sesgo y curtosis poblacionales multivariante tienen los siguientes valores:

$$\begin{aligned} \beta_{1p} &= 0 && \text{Sesgo multivariante} \\ \beta_{2p} &= p(p+2) && \text{Curtosis multivariante} \end{aligned}$$

**Definición.** Si  $\vec{x}_1, \dots, \vec{x}_n$  es una muestra aleatoria de tamaño  $n$ , tomadas de alguna población normal  $p$  variante,  $\vec{X} = (X_1, X_2, \dots, X_p)^t$ , con vector de medias  $\vec{\mu}$  y matriz de covarianzas  $\Sigma$ ,  $N_p(\vec{\mu}, \Sigma)$ , entonces,

$$\vec{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \vec{x}_i \quad S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\vec{x}_i - \vec{X})(\vec{x}_i - \vec{X})^t$$

son los estimadores máximo verosímiles del vector de medias  $\vec{\mu}$  y de la matriz de covarianzas  $\Sigma$  respectivamente, es decir,  $\hat{\vec{\mu}} = \vec{X}$  y  $\hat{\Sigma} = S$ .

El estimador máximo verosímil de la matriz de covarianza no es insesgado, por lo que para muestras pequeñas se corrige por el factor  $\left(\frac{n}{n-1}\right)$ . En la mayoría de los software estadísticos se considera la siguiente fórmula para la matriz de covarianzas muestral,  $S = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\vec{x}_i - \vec{X})(\vec{x}_i - \vec{X})^t$ .

#### 2.2.4 Evaluación del supuesto de normalidad multivariante.

Para algunos de los métodos multivariantes que se describirán en capítulos posteriores, no es una exigencia el supuesto de multinormalidad para hacer el análisis



estadístico de los datos. Sin embargo, en muchas ocasiones puede interesar al investigador usar métodos inferenciales, los que presuponen que las muestras provienen de poblaciones multinormales, siendo una exigencia presentar algún método para su evaluación.

A continuación se presenta algunos de los tests existentes en la literatura especializada para validar la multinormalidad. Algunos de ellos están basados en el sesgo y la curtosis y otros en el análisis de los gráficos que son la generalización de los gráficos univariantes denominados Q-Q plots. Además, se presenta la generalización del test Shapiro-Wilks para el caso multivariante, propuesto por Royston (1938b).

### Prueba para contrastar la multinormalidad.

Los coeficientes de asimetría y curtosis multivariante, para la población,  $\beta_{1p}$ ,  $\beta_{2p}$ , y sus correspondientes estimadores fueron presentados por Mardia (1970).

Dada una variable aleatoria  $X$  con media o esperanza  $E(X) = \mu$  y con varianza  $\sigma^2 = E[(X - \mu)^2]$ , se definen los coeficientes poblacionales de asimetría  $\gamma_1$  y de curtosis  $\gamma_2$ , como sigue:

$$\gamma_1 = \frac{\mu_3}{\sigma^3} \quad y \quad \gamma_2 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3,$$

Donde  $\mu_k$  es el momento central de orden  $k$  definido como  $\mu_k = E[(X - \mu)^k]$ .

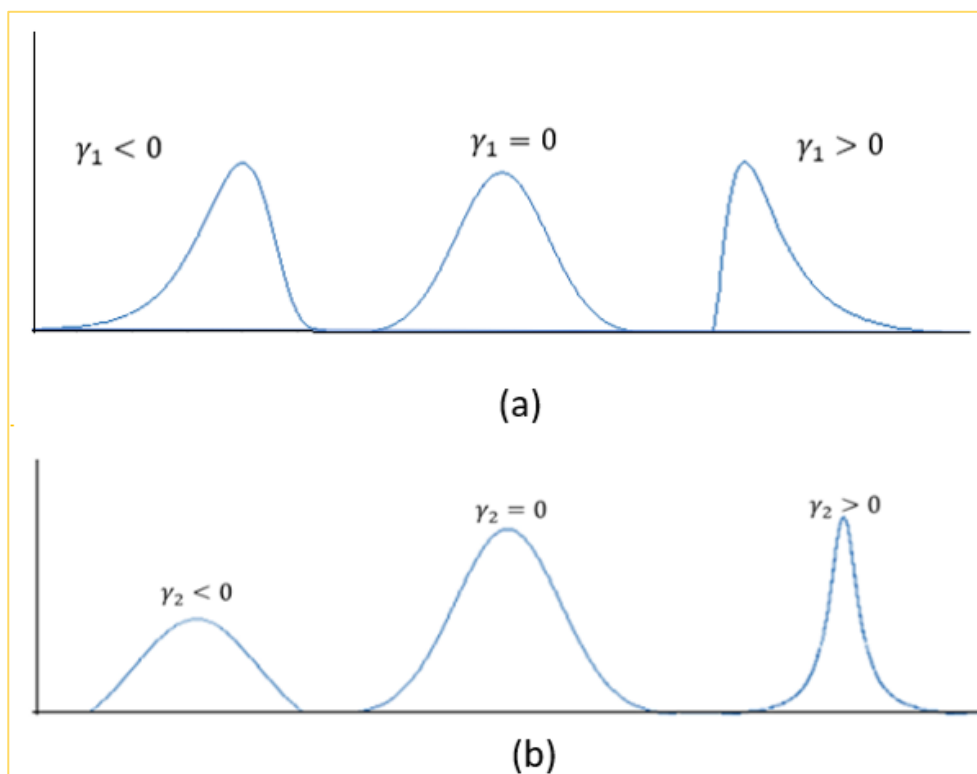


Figura 3. (a) Tipos de asimetría, (b) Tipo de curtosis.

Como se ha señalado anteriormente, los valores de estos coeficientes corresponden a la población, un procedimiento para decidir a partir de una muestra si la distribución desde la cual proviene es normal o no, requiere de la estimación de  $\gamma_1$  y  $\gamma_2$  respectivamente y contrastar la hipótesis que estos valores son iguales a cero, si la hipótesis es rechazada entonces puede afirmarse que la muestra no procede de una distribución normal.

Se considera a  $\{x_1, x_2, \dots, x_p\}$  como una muestra aleatoria de tamaño  $n$  de la variable aleatoria  $X$  se definen los coeficientes muestrales de asimetría,  $g_1$ , y de curtosis,  $g_2$ , como:

$$g_1 = \frac{m_3}{s^3} \quad y \quad g_2 = \frac{m_4}{s^4} - 3,$$

donde  $m_k$  es el momento muestral central de  $k$ -ésimo orden:

$$m_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^k, \quad s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad y \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Estos coeficientes muestrales no son, en general, estimadores insesgados de  $\gamma_1$  y  $\gamma_2$ , por lo que se plantea para cada uno de ellos los estimadores  $G_1$  y  $G_2$  que, bajo la hipótesis nula de normalidad la cual se quiere contrastar, son estimadores insesgados con varianzas conocidas. Las siguientes expresiones corresponden a  $G_1$  y  $G_2$ , los cuales son una función de  $g_1$  y  $g_2$  respectivamente:

$$G_1 = \left( \frac{\sqrt{n(n-1)}}{n-2} \right) \frac{m_3}{s^3} = \left( \frac{\sqrt{n(n-1)}}{n-2} \right) g_1$$

$$G_2 = \left( \frac{n+1}{n-1} \right) \frac{m_4}{s^4} - 3 = \left( \frac{n+1}{n-1} \right) g_2 - 3$$

En el contexto multivariante, para una muestra aleatoria de tamaño  $n$ ,  $\vec{X}_1, \dots, \vec{X}_n$ , con distribución normal multivariante con media  $\vec{\mu}$  y matriz de covarianzas  $\Sigma$ ,  $N(\vec{\mu}, \Sigma)$ , Mardia (1970) demostró que las esperanzas matemáticas de los estimadores de sesgo y curtosis:  $\hat{\beta}_{1p}$  y  $\hat{\beta}_{2p}$  de  $\beta_{1p}$  y  $\beta_{2p}$ , son  $E(\hat{\beta}_{1p}) = 0$  y  $E(\hat{\beta}_{2p}) = \frac{p(p+2)(n-1)}{n+1}$ ,

$var(\hat{\beta}_{2p}) = 8p(p+2)/n$ ; donde:

$$\hat{\beta}_{1p} = b_{1p} = \frac{1}{n^2} \sum_{r=1}^{n_1} \sum_{s=1}^{n_1} g_{rs}^3 \quad y \quad \hat{\beta}_{2p} = b_{2p} = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n g_{rr}^2$$

$$g_{rs} = (\vec{x}_r - \vec{x})^t S^{-1} (\vec{x}_s - \vec{x}).$$

### Test de multinormalidad basado en el sesgo y la curtosis multivariante.

Mardia (1970), usando propiedades asintóticas del estimador propuso el siguiente test para la hipótesis nula que el sesgo multivariante  $\beta_{1p}$  vale cero, es decir, para la hipótesis nula  $H_0: \beta_{1p} = 0$ .

Demostró que bajo la hipótesis nula la estadística  $\chi_c^2 = \frac{n\hat{\beta}_{1p}}{6}$ , tiene distribución asintóticamente ji-cuadrado con  $\nu = \frac{p(p+1)(p+2)}{6}$  grados de libertad. Se rechaza  $H_0$  si el valor observado de la estadística  $\chi_c^2$  supera al valor del cuantil superior,  $\chi_{(\alpha, \nu)}^2$ , de la distribución ji cuadrado con  $\nu$  grados de libertad con un nivel de significación  $\alpha$ .

En el caso de la curtosis demostró que bajo la hipótesis nula,  $H_0: \beta_{2p} = p(p+2)$ , la estadística de prueba:

$$Z_c = \frac{\hat{\beta}_{2p} - p(p+2)(n-1)/(n+1)}{\sqrt{8p(p+2)/n}},$$

tiene distribución normal con media cero y varianza 1, es decir  $N(0,1)$ . Se rechazará la hipótesis nula si  $|Z_c| \geq Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ , donde  $Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$  es el cuantil superior de la distribución normal estándar con una probabilidad  $1 - \frac{\alpha}{2}$ .

- **Test conjunto del sesgo y curtosis**

Mardia, demostró que bajo la siguiente hipótesis nula para el sesgo y la curtosis multivariante,

$$H_0: \beta_{1p} = 0 \quad y \quad \beta_{2p} = p(p+2),$$

La estadística de prueba:  $A_C = Z_c^2 + \chi_c^2$ , tiene distribución ji cuadrado con  $\nu = \frac{1+p(p+1)(p+2)}{6}$  grados de libertad.

Se recomienda usar preferentemente a los dos tests anteriores y si se rechaza la hipótesis nula, aplicar los tests individuales para saber si la falta de normalidad se debe al sesgo o a la curtosis.

2.2.5 Análisis de varianza (ANOVA). Es un método estadístico que permite dividir la variabilidad observada en componentes independientes con el objetivo de analizar la variabilidad dentro de los grupos conformados o entre ellos. Es decir, se puede comparar más de dos grupos y si la variable de estudio es cuantitativa.

- **ANOVA no paramétrico: Test de Kruskal- Wallis**

El análisis de la varianza (ANOVA: **A**nalysis of **V**ariance) es una metodología que se puede utilizar en las situaciones en las que se debe analizar una respuesta cuantitativa, denominada variable dependiente, y asociada a una o más variables independientes (categóricas).

*Supuestos:*

- Los datos disponibles para el análisis consisten de k muestras independientes cada una de tamaño  $n_1, n_2, \dots, n_k$  respectivamente.
- Las observaciones son independientes dentro de cada muestra y entre muestras.
- La variable de interés es continua.
- La escala de medición es al menos ordinal.
- Las poblaciones desde las cuales se han seleccionado las muestras son idénticas excepto para una diferencia en posición en al menos una de ellas.

*Hipótesis:*

$H_0$  : Las medianas de las k poblaciones son iguales.

$H_1$  : Al menos una de las poblaciones tiene una mediana diferente.

*Estadístico de prueba:*

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$

Si existen observaciones empatadas en el estadístico H debe incluirse el factor de corrección.

$$f_c = 1 - \frac{\sum_j (t_j^3 - t_j)}{n^3 - n}$$

Finalmente, el estadístico corregido es:

$$H_c = \frac{H}{f_c}$$

*Regla de decisión:*

Se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  si el p-valor es inferior al nivel de significación.

- **Análisis multivariante de la varianza (MANOVA).**

Método estadístico que se centra en el estudio de las diferencias entre las medias poblacionales en dos o más variables dependientes simultáneamente. Esto permite analizar la relación entre varias variables categóricas (tratamientos) y dos o más variables dependientes métricas. Es una extensión del ANOVA univariante.

- **PERMANOVA.**

El Análisis de varianza multivariante por permutaciones (PERMANOVA), es un proceso que puede ser expresado como una partición geométrica de la variación multivariante basado en una medida de disimilitud elegida de acuerdo con un diseño de análisis de varianza específico, tiene la característica que los p-valores se obtienen mediante permutaciones sin considerar una distribución de probabilidad específica.

### 2.2.6 Análisis Factorial.

Es un método multivariante de reducción de datos que tiene como objetivo explicar el comportamiento de un conjunto de variables observables a través de un número reducido de variables no observables (latentes) denominadas factores, siendo el número de factores inferior al de las variables originales consideradas en el análisis.

### 2.2.7 Análisis de conglomerados (clúster).

Es un método exploratorio que tiene como objetivo determinar el número de grupos adecuado y su estructura basada en la similaridad existente entre los casos. Es

considerado como un método de aprendizaje no supervisado, es decir, un método que permite extraer información de un conjunto de datos sin imponer supuestos en forma de modelos estadísticos, al menos de forma explícita.

### 2.2.8 Prueba de hipótesis no paramétrica.

- Test de Wilcoxon

Es una alternativa no paramétrica del test  $t$  de Student que depende del supuesto de normalidad. En el caso de los test no paramétricos considera la mediana para el análisis.

*Supuestos:*

- El análisis se basa en una muestra aleatoria de tamaño  $n$  desde una población con mediana  $M$  desconocida.
- La variable de interés es continua.
- La población muestreada es simétrica.
- La variable tiene una escala al menos de intervalo.
- Las observaciones son independientes.

*Hipótesis:*

$$\text{I. } H_0 : M = M_0 \quad \text{Vs. } H_0 : M \neq M_0$$

$$\text{II. } H_0 : M \geq M_0 \quad \text{Vs. } H_0 : M < M_0$$

$$\text{III. } H_0 : M \leq M_0 \quad \text{Vs. } H_0 : M > M_0$$

Con un nivel de significación seleccionado  $\alpha$  (generalmente toma el valor 0.05).

Metodología para obtener el estadístico de prueba:

1. Sustraer de cada observación la mediana hipotética  $M_0$  es decir:

$$D_i = X_i - M_0, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Si alguna observación,  $X_i$ , es igual a la mediana hipotética  $M_0$ , esta es eliminada del análisis y el tamaño de la muestra es reducido.

2. Ordenar las diferencias  $D_i$  sin considerar el signo. Es decir, ordenar el valor absoluto de las diferencias. Si dos o más  $|D_i|$  son iguales (empate), se le asigna a cada valor empatado la media de los rangos que ocupan las diferencias empatadas.
3. Asignar a cada rango el signo de la diferencia  $D_i$ .
4. Obtener el total de los rangos con signo positivo, llamado  $T^+$  y el total de los rangos con signo negativo, denominado  $T^-$ . En realidad, solo es necesario obtener una de estas sumas dado que una de ellas puede ser obtenida a través de la siguiente relación:

Suma total de los rangos:

$$T = \frac{n(n+1)}{2} \text{ entonces } T^+ = \frac{n(n+1)}{2} - T^- .$$

*Regla de decisión:*

Se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  si el p-valor es inferior al nivel de significación.

### 2.2.9 Escalamiento multidimensional.

Es un método rápido y sencillo que permite una representación espacial que conduce a la obtención de mapas perceptuales. En líneas generales, el objetivo del escalamiento multidimensional es expresar los juicios de similitudes entre objetos, en distancias entre los puntos en un mapa. Tal que, si A y B se perciben de forma semejante, los puntos a los que representan serán próximos en el mapa perceptual, y en el caso contrario su distancia en el espacio perceptual no guardará concordancia.

## 2.3 Marco Conceptual

La costa del Perú es el resultado de transgresiones y regresiones geológicas muy pronunciadas a través del tiempo, las mismas que han configurado el perfil actual de la línea costera. La línea de costa se encuentra comprendida entre las latitudes  $03^{\circ}24'$  y  $18^{\circ} 20.8' S$ , que corresponde los límites entre las fronteras de Perú con Ecuador (Punta Capones) y con Chile (Hito Concordia), su extensión supera las 1200 mn. La orientación de la línea costera varía entre el S y SE, a excepción de una pequeña

porción al norte de Cabo Blanco, que presenta orientación SO. Al sur de los 06° S la línea costera es aproximadamente paralela a la dirección de los vientos alisios del SE, especialmente al sur de Pisco, lo que es importante para la generación del afloramiento costero y la orientación de la Corriente Costera Peruana.

### 2.3.1 Propiedades del agua de mar

El agua de mar es una solución de sales, sus propiedades físicas son muy diferentes de las del agua dulce y varían de acuerdo con la cantidad de sales que contenga. Las propiedades del agua de mar se pueden agrupar en conservativas y no conservativas. Entre las primeras se tiene principalmente a la temperatura y salinidad y las no conservativas son aquellas como el oxígeno, fosfato, silicato, nitrato entre otras, que están sujetas a grandes cambios por efecto de fenómenos atmosféricos, procesos químicos y bioquímicos. La molécula de agua ( $H_2O$ ) está compuesta por dos átomos de hidrógeno conectados por un átomo de oxígeno, y su estructura es asimétrica debido a que los ejes entre los átomos de H y de O se intersectan en un ángulo de  $105^\circ$ , como consecuencia genera un momento dipolar eléctrico. Uno de los efectos de la gran tensión superficial es la ocurrencia de ondas capilares (fluctuaciones de la interface líquido-vapor debidas a la temperatura), las cuales son estudiadas como una superficie matemática fluctuante. La siguiente representación gráfica muestra la composición química del agua de mar.

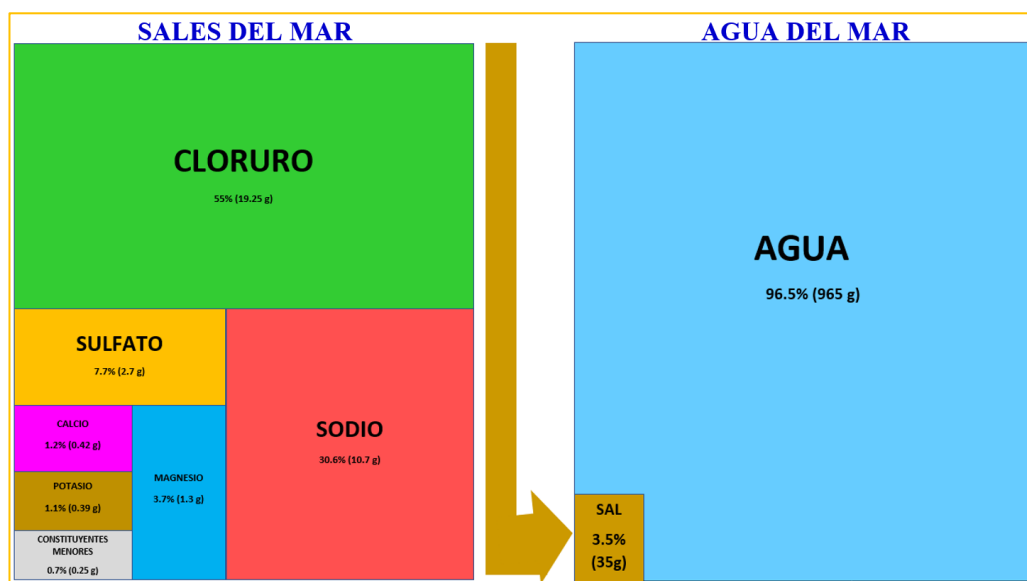


Figura 4. Composición química del agua de mar.



### **2.3.1.1 Temperatura**

Es la medida de la energía cinética molecular media que tienen las moléculas de agua. La temperatura del agua de mar generalmente oscila entre  $2^{\circ}\text{C}$  y  $30^{\circ}\text{C}$  y con valores extremos entre  $-4^{\circ}\text{C}$  y  $+42^{\circ}\text{C}$ . La distribución de la temperatura en los océanos es uno de los factores que controlan la distribución de organismos marinos y la densidad del agua de mar. Es decir, la temperatura interviene directamente en el establecimiento de la distribución de las masas de agua en el océano, por cambios de densidad, disponiendo las menos densas y calientes arriba y las más densas y frías abajo. Además, el conocimiento del balance térmico en el mar permite entender la distribución de las comunidades de organismos tanto en las aguas poco profundas como en las profundidades. Debido a su capacidad calórica del agua de mar, la temperatura en el mar varía mucho menos que la terrestre, por ello, el mar ofrece un ambiente estable para la vida marina y una gran influencia sobre el clima costero. Frente a la costa peruana las temperaturas presentan cambios estacionales bien marcados, con altos valores en el verano y bajos en el invierno, generalmente se elevan hacia el ecuador y hacia el oeste, dando lugar a gradientes zonales y latitudinales principalmente en el verano, cuando las mayores temperaturas se proyectan hacia el sur y hacia la costa o zonas de afloramiento. En febrero y marzo se registran las máximas temperaturas del año, alcanzando valores de  $25^{\circ}\text{C}$  y  $26^{\circ}\text{C}$  por fuera de las  $150\text{ mn}$  y al norte de los  $14^{\circ}\text{ S}$ , mientras que las temperaturas mínimas se registran principalmente en los meses de agosto y setiembre dentro de las  $50\text{ mn}$  con valores de  $13^{\circ}\text{C}$  y  $17^{\circ}\text{C}$ , debido a la intensificación de los vientos y del afloramiento costero, en estos meses las isotermas rompen el paralelismo a la costa observada en la estación de verano, dando lugar a una dispersión mucho más notoria al sur de los  $10^{\circ}\text{ S}$ .

### **2.3.1.2 Nivel medio del mar**

De acuerdo a la organización internacional Permanent Service for Mean Sea Level “el nivel medio del mar (Mean Sea Level, MSL) se define como el nivel de las aguas tranquilas del mar promediado durante un periodo determinado de tiempo de tal forma que los efectos provocados periódicamente por mareas y por otras causas frecuentes como las olas queden compensados”. La información del nivel medio del mar combina las mediciones de los altímetros de todas las misiones disponibles (satélites Saral, HY-2, Cryosat, Jason-2 y Spot) de Ssalto/Duacs (Ssalto multimission ground segment/Data

Unification and Altimeter Combination System, de acuerdo a sus siglas en inglés). El nivel medio del mar es el promedio de la altura del mar para todas las fases de la marea tomado durante una larga serie de observaciones.

### **2.3.1.3 Número de iones hidrogeno (pH)**

El pH es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, mediante el cálculo del número iones hidrogeno presentes. Se mide en una escala a partir de 0 a 14, en la escala 7, la sustancia es neutra. Los valores de pH por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida y los valores de pH por encima de 7 indican que es básica. Cuando una sustancia es neutra el número de los átomos de hidrógeno y de oxhidrilos son iguales. Se considera uno de los factores físico - químicos más importantes en la caracterización de la masa de agua. Existen ciertas dependencias entre el equilibrio de determinadas sustancias y el pH del medio. El agua de mar por la cantidad de sales tiene una característica búfer donde el pH tiende a valores próximo a 8.

### **2.3.1.4 Oxígeno**

Todos los organismos vivos dependen de una u otra forma del oxígeno en los procesos metabólicos que producen energía para crecimiento y reproducción. Todos los gases de la atmósfera son solubles en agua en diferente grado dependiendo directamente de su presión parcial; el nitrógeno y el oxígeno son considerados con una solubilidad pobre, siendo menor en agua con mayor salinidad y temperatura. En aguas contaminadas los valores de saturación son menores que en aguas limpias, considerándose como aceptables aquellas con un contenido mínimo del 75 %. En aguas naturales, el oxígeno disuelto es el factor que determina los cambios biológicos realizados por organismos aeróbicos y anaerobios, ellos utilizan el oxígeno libre para la oxidación de las materias orgánicas e inorgánicas produciéndose productos finales inocuos.

### **2.3.1.5 Fosfatos**

La determinación de fosfatos tiene una vital importancia en el crecimiento en la práctica de ingeniería ambiental, por su importancia decisiva para la vida en los océanos dado el papel que el fósforo desempeña como nutriente limitante en la formación de la materia viva. El fósforo inorgánico tiene mayor consideración en

comparación al fósforo orgánico. El contenido de fósforos en los océanos es mínimo en superficie (por el consumo) y máximo a los 1000 m; a partir de esta profundidad decrece ligeramente, con más o menos regularidad, o bien permanece casi constante.

### **2.3.1.6 Nitritos**

La presencia de nitritos en el agua es indicativo de contaminación de carácter fecal reciente (Catalán L. et al., 1971; Catalán A., 1981; Metcalf y Eddy, 1988). Las bacterias del grupo de las Nitrosomas conocidos como formadores de nitritos, convierten amonía bajo condiciones aeróbicas a nitritos y derivan energías. La concentración de nitrito puede ser considerada como un índice de la cantidad de nitrógeno orgánico intermedio potencialmente disponible para la remineralización. Consecuentemente el “estudio de las concentraciones de nitritos pueden servir como indicadores de inestabilidad del sistema (Riley & Chester)”.

### **2.3.1.7 Nitratos**

Las bacterias nitrificantes degradan los nitritos a nitratos. Los nitratos formados pueden servir como fertilizantes para plantas, los mismos producidos en exceso son acarreados a las fuentes de agua por percolado porque el suelo no tiene la habilidad de retenerlo. Algunas bacterias heterotróficas son también capaces de usar  $N-NO_3$  como una alternativa respiratoria en lugar de oxígeno. En condiciones anaeróbicas los nitritos y nitratos son reducidos a amonio, por procesos de desnitrificación por algunas bacterias, muchas de estas reducciones se escapan a la atmósfera en forma de gas nitrógeno.

## **2.4 Hipótesis general**

La presente investigación establece que la caracterización holística de la calidad del medio marino costero peruano se construye mediante indicadores obtenidos con métodos estadísticos multivariantes.

## **2.5 Hipótesis específicas**

1. Las bases de datos estructuradas para el análisis estadístico multivariante contienen la información más relevante de las variables asociadas a la calidad del medio marino costero peruano.
2. El análisis exploratorio de datos descubre los patrones de comportamiento de las variables asociadas a la calidad del medio marino costero peruano.
3. Los métodos estadísticos multivariantes, permiten la construcción de indicadores de la calidad del medio marino costero peruano.

## CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

### 3.1 Tipo y Diseño de investigación

La ciencia es un “creciente cuerpo de ideas - un sistema vivo y en permanente desarrollo- que puede caracterizarse como conocimiento racional, sistemático, exacto, verificable y por consiguiente falible” (Bunge, 1968, p.16). La presente investigación se enmarca en el contexto de una investigación aplicada, de tipo explicativa y diseño no experimental.

Es una investigación aplicada debido a que se caracteriza porque busca la utilización de los conocimientos adquiridos, así también se generan nuevos conocimientos después de implementar y sistematizar la información obtenida haciendo uso del análisis estadístico multivariante. Según Padrón (2006), “la investigación aplicada tiene como finalidad la búsqueda y consolidación del saber, la aplicación de los conocimientos para el enriquecimiento del acervo cultural, y científico, así como para la producción”. Ésta comprende, en principio, los siguientes pasos:

1. Partir de una situación problemática que requiere ser intervenida y mejorada. Se debe describir sistemáticamente esa situación problema, de manera que se justifique con criterios relevantes su orden práctico.
2. Seleccionar una teoría, para luego exponerla en sus conceptos centrales y en sus rasgos contextuales.
3. Examinar la situación “problema” a la luz de la teoría seleccionada, de ésta se deriva un prototipo de acción, con el cual se busca resolver favorablemente la situación “problema”. Para luego ensayar y probar el prototipo descrito y determinar la probabilidad que tiene el modelo aplicativo para resolver la situación problema.

La presente investigación es de tipo explicativo porque se encuentra en el contexto de las investigaciones que implican determinar las causas de los fenómenos, para lo cual se integran diversas teorías que permiten explicar e interpretar los hechos, en este caso se analizarán las variables relacionadas a la calidad del medio marino costero mediante métodos multivariantes.

La investigación es no experimental debido a que los datos de las variables consideradas en la investigación no han sido controladas y tampoco manipuladas, estas han sido obtenidos como fuente secundaria de IMARPE y de la DHN de la Marina de Guerra del Perú.

Procedimiento:

**Etapa 1.** Desarrollo del soporte conceptual mediante la investigación bibliográfica vinculada a la calidad del medio marino, métodos estadísticos multivariantes y software para el procesamiento de datos. Además, de realizar consultas a especialistas en las áreas de estudio de la investigación con lo cual quedan definidas las variables consideradas en el análisis estadístico.

**Etapa 2.** Diseño de las bases de datos, que constituyen conjuntos estructurados que tienen como fuente principal los informes del IMARPE.

**Etapa 3.** Desarrollo del marco teórico. Se elegirán y desarrollarán los métodos estadísticos multivariantes para la caracterización del medio marino peruano. En esta etapa se realizará el análisis exploratorio de datos (AED), análisis de varianza (ANOVA), Análisis multivariante de la varianza (MANOVA), análisis factorial, análisis cluster, escalamiento multidimensional y el análisis de regresión.

**Etapa 4.** Se realizará el análisis de los datos utilizando los métodos estadísticos elegidos para cumplir con el propósito de caracterizar el medio marino peruano. En esta etapa se debe culminar la redacción de la tesis teniendo en cuenta que se tiene que levantar las observaciones del jurado evaluador y de la asesora de tesis.

### **3.2 Unidad de análisis**

La unidad de análisis considerada en la investigación está constituida por cada escenario ambiental o estación de muestreo monitoreada por IMARPE o de la DHN de la marina de Guerra del Perú.



Figura 5. Localización de la red costera de estaciones fijas que registran la temperatura del agua de mar, y donde se colectan muestras de agua para analizar las variaciones de la salinidad del mar y otros parámetros. Fuente: IMARPE

### 3.3 Población en estudio

El mar peruano, en el cual IMARPE monitorea mediante cruceros de investigación y operaciones haciendo uso de sus buques de investigación científica como el BIC/Humboldt, BIC/José Olaya Balandra, BIC/Luis Flores y otras embarcaciones de menor calado toda la zona costera. Periodos de estudio 1985-2012, 1984-2015, en las estaciones de monitoreo en la cuales IMARPE registra los datos.

### 3.4 Muestra: Escenarios ambientales

En la presente investigación, se consideran los escenarios ambientales existentes en el mar peruano y los patrones de variabilidad predominantes, a partir de los datos obtenidos *in situ* en los en el periodo 1984 a 2015 por el IMARPE en sus cruceros de

investigación oceanográfica, cruceros de evaluación de recursos pesqueros, cruceros de investigación internacionales, en los que realiza una supervisión periódica a los protocolos de muestreo y las metodologías utilizadas; lo cual constituye un historial de monitoreo que permite la construcción de las matrices de datos adecuadas para la realización del análisis estadístico propuesto en esta investigación. La ubicación de las estaciones de muestreo consideradas por IMARPE. Además, de la información de los reportes de la Marina de Guerra del Perú - Dirección de Hidrografía y Navegación.

El proceso de muestreo, el cual consiste en “recoger una porción de material lo suficientemente pequeño como para ser fácilmente transportado al Laboratorio de Análisis para su investigación, esta muestra debe ser homogénea y representativa de las características del total del material muestreado”. El muestreo constituye un proceso importante para garantizar la precisión de los resultados. El muestreo se desarrolla en tres etapas:

1. El pre-muestreo comprende las actividades previas a la recolección de la muestra, y se considera:
  - Equipos e instrumentos.
  - Botella o recipiente de muestreo.
  - Volumen de muestra.
  - Método de preservación.
  - Tiempo máximo de almacenamiento.
  
2. La recolección de la muestra comprende las siguientes actividades:
  - Medición *in situ*.
  - Recolección de la muestra, que puede ser puntual (simple) o compuesta (balanceada).
  - Rotulado de muestras.
  - Conservación y preservación de la muestra.
  - Transporte y almacenamiento.
  
3. En el post- muestreo el laboratorio debe garantizar la precisión y exactitud de los datos del muestreo, para ello debe utilizar los procedimientos estándar establecidos en “Métodos Estándar para el Análisis de Agua y Aguas residuales” 18th edición. Para garantizar la calidad del laboratorio, se deberá mandar



muestras repetidas, para ello se muestrea dos veces una misma estación. A esta muestra se le denomina “muestra doble” o muestra “repetida”.

En los principales laboratorios de investigación de IMARPE, se determinan las condiciones oceanográficas y su interrelación con la distribución y concentración de los principales los recursos pesqueros y sus características biológicas en el litoral del Perú. Se realizan estudios de las características térmicas, químicas, índices de productividad e indicadores biológicos del ámbito marino en relación con el conocimiento de la distribución y concentración de los principales recursos, para identificar la estructura por tamaños de las principales especies.

Los principales laboratorios de investigación de IMARPE que funcionan en el litoral peruano son los siguientes:

**i. Laboratorio costero de Tumbes.**

El Laboratorio descentralizado de Tumbes se encuentra ubicado en el Centro Poblado de Nueva Esperanza, a la altura del km 1249 de la carretera Panamericana Norte, en la intersección de las calles José Olaya y Francisco Bolognesi.



*Figura 6.* Ubicación laboratorio costero IMARPE-Tumbes.  
Fuente: IMARPE

**ii. Laboratorio costero de Paita.**

Corresponde a la Sede Regional de Piura que se localiza en la ciudad de Paita.



*Figura 7. Ubicación laboratorio costero IMARPE-Paita Fuente: IMARPE.*

**iii. Laboratorio costero de Santa Rosa.**

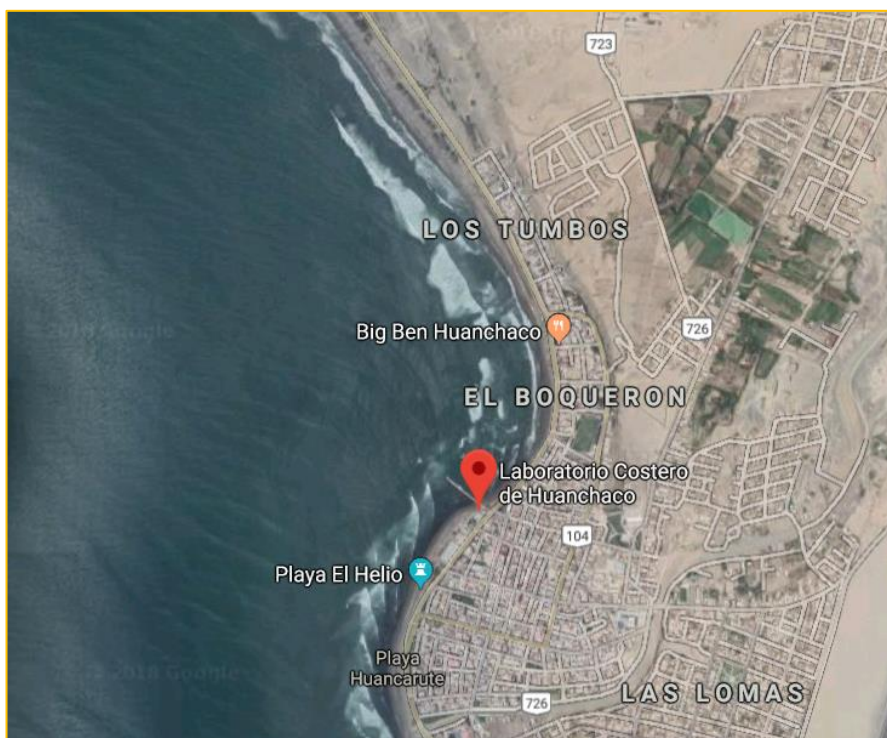
Corresponde a la Sede Descentralizada en el Departamento de Lambayeque del Instituto del Mar del Perú, inicia sus actividades en 1991, en la caleta San José, teniendo como centro de labores un local ubicado dentro del Terminal Pesquero de propiedad de Pesca Perú.



*Figura 8. Ubicación laboratorio costero IMARPE-Sta. Rosa. Fuente: IMARPE.*

**iv. Laboratorio costero de Huanchaco.**

Corresponde a la Sede Descentralizada en el Departamento de La Libertad.



*Figura 9.* Ubicación laboratorio costero IMARPE-Huanchaco.  
Fuente: IMARPE

**v. Laboratorio costero de Chimbote.**

El Laboratorio Costero de Chimbote, es el órgano de apoyo técnico y científico del Instituto del Mar del Perú en el litoral de la Región Ancash.



*Figura 10.* Ubicación laboratorio costero IMARPE-Chimbote.

Fuente: IMARPE.



*Figura 11.* Toma de muestras. IMARPE-Chimbote.

Fuente: IMARPE

**vi. Laboratorio costero de Huacho.**

El Instituto del Mar del Perú (IMARPE) a través del Laboratorio Costero de Huacho, desarrolla investigaciones en la Región Lima.



*Figura 12.* Ubicación laboratorio costero IMARPE-Huacho.

Fuente: IMARPE



Figura 13. Toma de muestras y análisis. IMARPE-Huacho

### vii. Laboratorio costero de Pisco.

Se encuentra ubicado en la Calle: Los Libertadores A-12. Distrito de Paracas, Pisco.

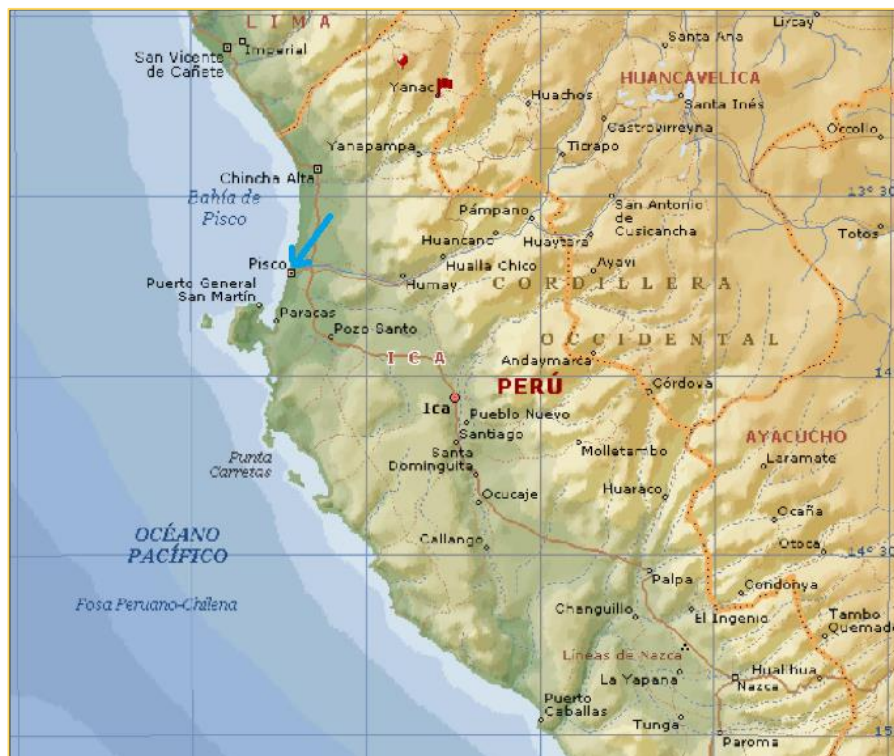


Figura 14. Ubicación laboratorio costero IMARPE-Pisco. Fuente: IMARPE.

### viii. Laboratorio costero de Camaná.

El Laboratorio Costero se ubica en el Balneario Los Cerrillos I, en el distrito Samuel Pastor, provincia de Camaná.

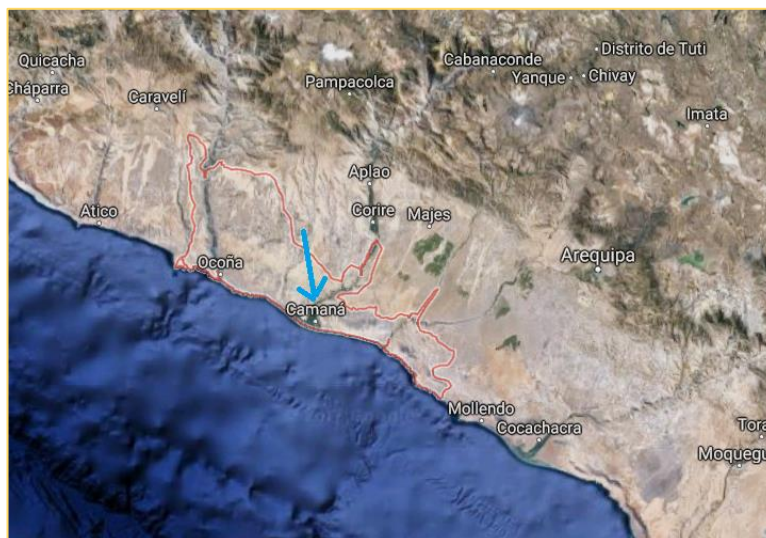


Figura 15. Ubicación laboratorio - costero IMARPE Camaná.  
Fuente: IMARPE.

### ix. Laboratorio costero de Ilo.

La Sede del IMARPE en Ilo, tiene como jurisdicción las Regiones de Moquegua y Tacna.

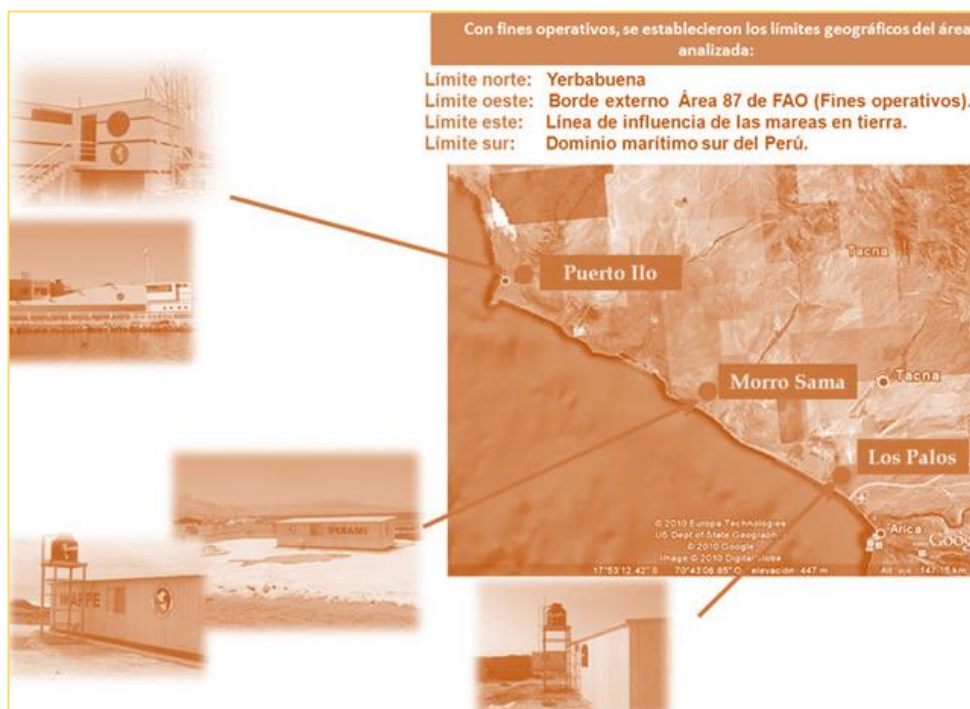


Figura 16. Ubicación laboratorio costero IMARPE-Ilo. Fuente: IMARPE.

## **CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 Técnicas de recolección de datos**

Los datos considerados para el análisis en la presente investigación corresponden a fuentes secundarias obtenidas mediante diversas publicaciones de IMARPE y de la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, según el periodo en que se registra los datos (1984-2015, 1985-2015 y 1996-2012), que son consolidados que garantizan precisión y exactitud de los datos. Considerando que IMARPE por ser una institución del estado es una fuente de carácter oficial. Los datos relacionados a las variables TSM, nivel del mar, oxígeno, fosfatos, silicatos, nitritos y nitratos; ha permitido construir y estructurar bases de datos. Puede señalarse que en el ámbito científico la información basada en datos analizados mediante métodos estadísticos puede presentar algunas dificultades, los diferentes tipos de gráficos y diagramas contribuyen a facilitar su interpretación de una manera mucho más rápida y ponen de relieve la relación entre las variables, permitiendo mostrar los patrones y tendencias que aportan información relevante presentando así soluciones integradas. En esta investigación se utilizarán distintos tipos de gráficos y diagramas que la estadística nos brinda para describir y caracterizar las variables consideradas en el análisis con el propósito de realizar una presentación sencilla y de fácil comprensión todo ello con el soporte del software libre R.

## 4.2 Análisis e interpretación de los datos del nivel superficial del mar en las estaciones de monitoreo: Talara, Paita, Lobos de Afuera, Chimbote, Chucuito, Pisco, San Juan y Matarani durante 1984 a 2015.

En las últimas dos décadas se ha evidenciado un aumento constante del nivel del mar lo cual es un signo claro del calentamiento del planeta, y este aumento ha sido en promedio de 7 centímetros. El calentamiento del planeta trae como consecuencia que el océano se caliente y esto implica la expansión del agua.

### 4.2.1 Análisis descriptivo del Nivel superficial del mar.

Se considerará el análisis estadístico del nivel medio del mar, iniciando este proceso con un análisis exploratorio de datos a través de un diagrama de cajas el cual permite identificar la presencia de outliers o la forma de la distribución de los datos entre otras características. Así este análisis se realizó con la variable nivel del mar en el periodo de 1984 a 2015 en las siguientes estaciones de monitoreo.

**Tabla 2**

*Estaciones de monitoreo: Nivel del mar. 1984 -2015.*

<b>Estación de monitoreo</b>	<b>Latitud °S</b>	<b>Longitud °W</b>
<b>Zona Norte</b>		
Talara	04°34'30"	081°16'57"
Paita	05°05'01"	081°06'27"
Lobos de Afuera	06°56'06"	080°43'19"
<b>Zona Centro</b>		
Chimbote	09°04'34"	078°36'45"
Chucuito	12°04'08"	077°10'00"
Pisco	13°49'10"	076°15'07"
<b>Zona Sur</b>		
San Juan	15°21'19"	075°09'37"
Matarani	17°00'03"	072°06'31"

Información IMARPE.

Previamente a la realización del análisis estadístico de los datos se realizó un análisis de datos faltantes.



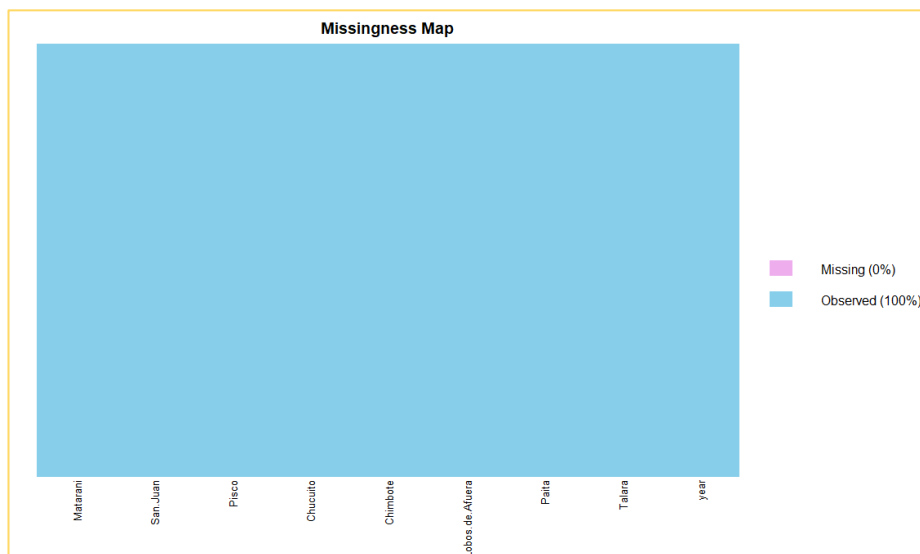


Figura 17. Análisis de datos faltantes de la variable nivel superficial del mar por estaciones de monitoreo. 1984- 2015.

El mapa de la Figura 17, permite observar que no existen datos faltantes. Es decir, el 100% de los datos formaron parte de análisis.

Con el propósito de observar en forma conjunta la distribución del nivel del mar en las ocho estaciones de monitoreo se construyó un diagrama de cajas múltiple.

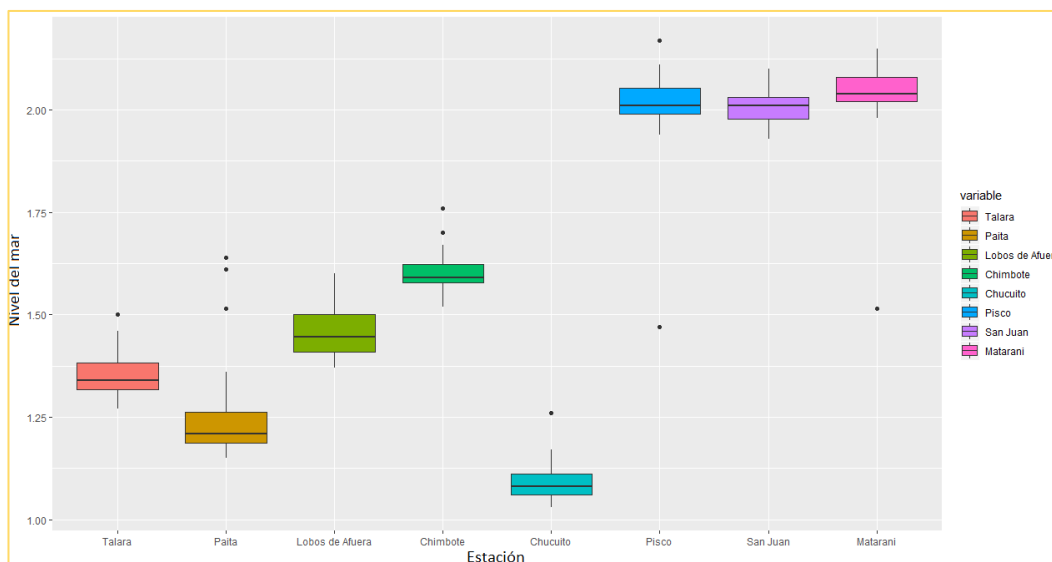


Figura 18. Distribución espacial del nivel superficial del mar por estaciones de monitoreo. 1984- 2015.

En la Figura 18, se observa el patrón de comportamiento del nivel superficial del mar en las estaciones de monitoreo en estudio. En particular destaca la observación 14 que corresponde al año 1997 en las estaciones de Chucuito, Pisco y Chimbote, se tiene conocimiento que en este año se presentó el Fenómeno de El Niño. Además, se observa una mayor dispersión en el 50% central de los datos en la estación de Lobos de Afuera.

La siguiente tabla, presenta información relacionada a las medidas descriptivas del nivel del mar: mínimo valor, cuartiles y máximo valor respectivamente.

**Tabla 3**

*Medidas descriptivas de las estaciones de monitoreo. Periodo 1984- 2015.*

<b>Talara</b>	<b>Paíta</b>	<b>LobosdeAfuera</b>	<b>Chimbote</b>
Min. :1.270	Min. :1.150	Min. :1.370	Min. :1.520
1st Qu.:1.317	1st Qu.:1.188	1st Qu.:1.410	1st Qu.:1.577
Median :1.340	Median :1.210	Median :1.445	Median :1.590
Mean :1.355	Mean :1.257	Mean :1.457	Mean :1.604
3rd Qu.:1.383	3rd Qu.:1.262	3rd Qu.:1.500	3rd Qu.:1.623
Max. :1.500	Max. :1.640	Max. :1.600	Max. :1.760
<b>Chucuito</b>	<b>Pisco</b>	<b>SanJuan</b>	<b>Matarani</b>
Min. :1.030	Min. :1.470	Min. :1.930	Min. :1.515
1st Qu.:1.060	1st Qu.:1.990	1st Qu.:1.978	1st Qu.:2.020
Median :1.080	Median :2.010	Median :2.010	Median :2.040
Mean :1.092	Mean :2.008	Mean :2.008	Mean :2.035
3rd Qu.:1.113	3rd Qu.:2.053	3rd Qu.:2.030	3rd Qu.:2.080
Max. :1.260	Max. :2.170	Max. :2.100	Max. :2.150

Elaboración propia de la investigación

La Tabla 3, permite observar que el mínimo valor del nivel del mar en las estaciones en estudio se presentó en Chucuito y máximo valor en Pisco respectivamente durante el periodo 1984 – 2015.

La siguiente figura muestra el diagrama lineal del nivel superficial del mar en la estación de Chucuito, en la cual se presentó el mínimo valor del nivel del mar en el periodo 1984-2015.



Figura 19. Dinámica del nivel superficial del mar en la estación de Chucuito. 1984-2015.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/NMChucuito19842015.html>

La siguiente figura permite observar el diagrama lineal del nivel superficial del mar en la estación de Pisco, en la cual se presentó el máximo valor del nivel del mar en el periodo 1984-2015.



Figura 20. Dinámica del nivel superficial del mar en la estación de Pisco.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/NMPisco19842015.html>

#### 4.2.2.1 Distribución de probabilidad del nivel superficial del mar.

Con el objetivo de observar el comportamiento de la distribución empírica de los datos relacionados al nivel superficial del mar en las estaciones de Chucuito, Paita, Talara, Lobos de Afuera, Pisco Chimbote, San Juan y Matarani (1984-2015) en comparación con el de la distribución normal se realizó un Q-Q Plot Normal. La Figura 21 y la Figura 22, presentan los Q-Q Plots para la estación de Chucuito y Pisco respectivamente, para las otras estaciones estos gráficos se presentan el Anexo .

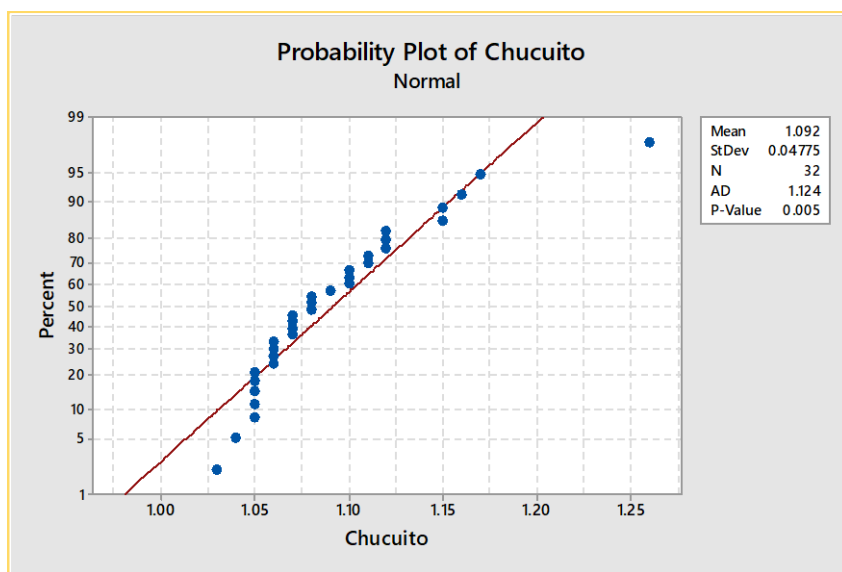


Figura 21. Q-Q plot del Nivel superficial del mar de la estación de Chucuito (1984-2015) en comparación con la distribución normal.

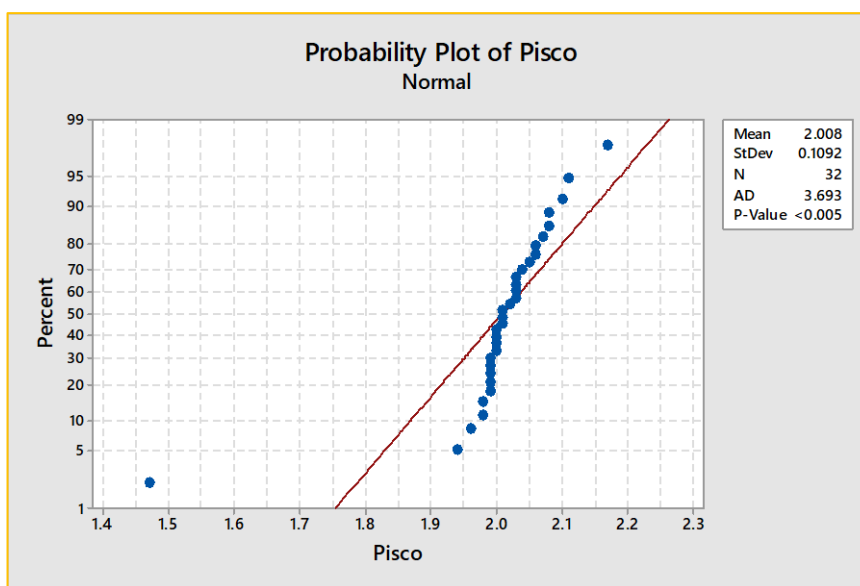


Figura 22. Q-Q plot del Nivel superficial del mar de la estación de Pisco (1984-2015) en comparación con la distribución normal.

Los Q-Q plots están asociados a la hipótesis que establece que la distribución de los datos del nivel del mar tiene distribución normal, el p-valor resultante de la prueba de hipótesis en ambos casos es inferior a un nivel de significación del 5%. Se puede concluir que la variable nivel del mar, en las estaciones de Chucuito y Pisco no se aproximan a una distribución de probabilidad normal. Esto permitirá elegir los métodos estadísticos confirmatorios para continuar con el análisis.

#### 4.2.2 Análisis factorial del nivel del mar en las ocho estaciones de monitoreo en estudio.

El Análisis Factorial, es un método estadístico que tiene como propósito reducir la dimensionalidad de los datos. Se realizó un análisis factorial respecto al nivel del mar de las estaciones de Chucuito, Paita, Talara, Lobos de Afuera, Pisco, Chimbote, San Juan y Matarani durante los años 1984-2015, con el objetivo de obtener grupos homogéneos. Es decir, encontrar un nuevo conjunto de variables, menor en número que las variables originales, que exprese lo que es común a esas variables y evaluar si existen uno o más factores que ayuden a reagrupar las variables de acuerdo al nivel del mar durante el periodo 1984-2015. Debido a que no se conoce la estructura subyacente entre las estaciones de monitoreo se realizará un Análisis Factorial Exploratorio. El procedimiento es el siguiente:

##### **Etapa 1.**

- i. Obtención de la matriz de correlación de las variables nivel del mar observado en las 8 estaciones de monitoreo en el periodo 1984-2015.

**Tabla 4**

*Matriz de Correlación.*

	Talara	Paita	LobosdeAfuera	Chimbote	Chucuito	Pisco	San Juan	Matarani
Talara	1.00	0.49	0.72	0.85	0.85	0.31	0.71	0.23
Paita	0.49	1.00	0.46	0.40	0.38	0.17	0.27	-0.16
LobosdeAfuera	0.72	0.46	1.00	0.64	0.67	0.24	0.54	0.32
Chimbote	0.85	0.40	0.64	1.00	0.84	0.24	0.68	0.34
Chucuito	0.85	0.38	0.67	0.84	1.00	0.32	0.78	0.40
Pisco	0.31	0.17	0.24	0.24	0.32	1.00	0.25	0.07
San Juan	0.71	0.27	0.54	0.68	0.78	0.25	1.00	0.32
Matarani	0.23	-0.16	0.32	0.34	0.40	0.07	0.32	1.00

Elaboración propia de la investigación

- ii. El determinante de la matriz de correlación es 0.0045, que es un valor muy cercano a cero lo cual implica que existen variables altamente correlacionadas y esto permite continuar con el análisis factorial.

La siguiente representación gráfica muestra el comportamiento de la variable y la correlaciones entre ellas.

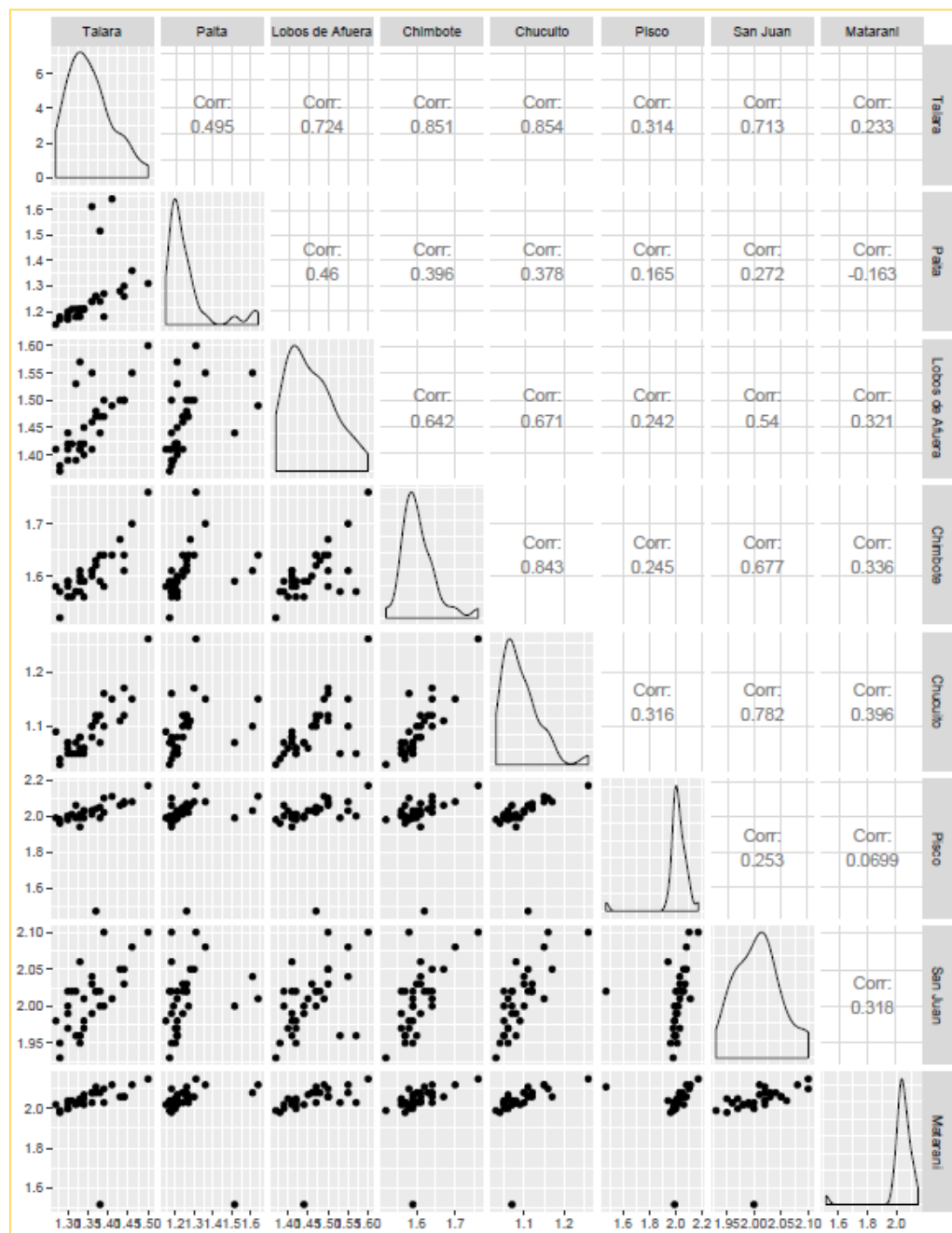


Figura 23. Correlaciones del nivel superficial del mar en las estaciones en estudio. 1984-2015.

A continuación, se presenta un mapa de calor (heatmaps) que permite visualizar los datos mediante las variaciones en el color. Los mapas de calor son adecuados para mostrar la varianza a través de múltiples variables evidenciando cualquier patrón, de tal forma que se puede observar si las variables son similares entre sí y descubrir si existen correlaciones entre ellas. Los mapas de calor se basan en la técnica “eyetracking”, utilizada en la psicología y el marketing para identificar donde fija la mirada una persona o cliente al observar una imagen.

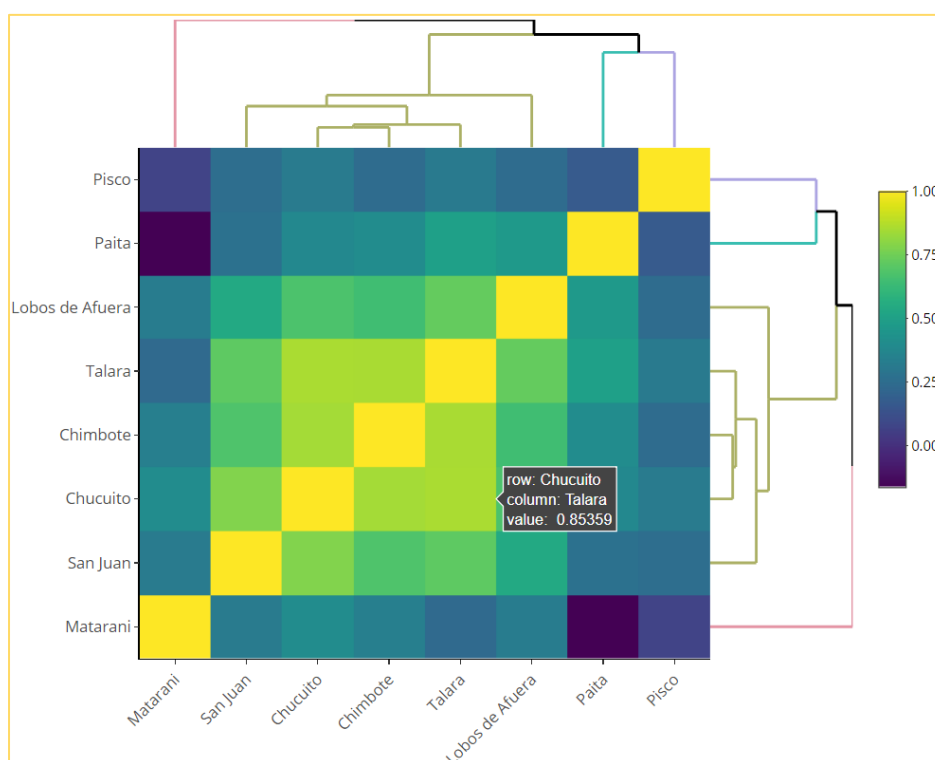


Figura 24. Mapa de calor de las correlaciones del nivel superficial del mar en las ocho estaciones en estudio. 1984-2015.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/NMmapacor19842015.html>

Mediante el mapa de calor de la Figura 24, se puede observar que 19 de las 28 correlaciones de la matriz de correlación son superiores a 0.3 que representan el 67.86%, este resultado da soporte al uso del AF.

iii. *Test de esfericidad de Bartlett.* Esta prueba permite contrastar la hipótesis nula de que la matriz de correlaciones  $R$ , es una matriz identidad, en cuyo caso no existirían correlaciones significativas entre las variables y el modelo factorial no sería pertinente. El procedimiento se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 5**

Test para contrastar la hipótesis que la matriz de correlaciones  $R$ , es una matriz identidad.

Hipótesis	Estadístico de Prueba	Criterio de Decisión
$H_0:  R  = I$ $H_1:  R  \neq I$ $\alpha = 0.05$	$K^2$ de Barlett = 77.604	Se rechaza la hipótesis nula si: $p\text{-valor} < 0.05$ En este caso: $p\text{-valor} = 4.238e-14 = 0 < 0.05$ $\therefore$ Se rechaza $H_0$

**Conclusión:** La prueba es significativa. Es decir, la matriz de correlaciones  $R$ , no es una matriz identidad. (continuar con AF)

Bartlett test of homogeneity of variances

data: n "Nivel del mar en 8 estaciones de monitoreo. 1984-2015"

Bartlett's K-squared = 77.604, df = 7, p-value = 4.238e-14

iv. *Medida de adecuación muestral Kaiser-Meyer-Olkin:* KMO. Esta medida permite comparar la magnitud de los coeficientes de correlación observados con la magnitud de los coeficientes de correlación parcial. EL estadístico KMO varía entre 0 y 1. Los valores pequeños indican que el análisis factorial no debe ser aplicado, dado que las correlaciones entre los pares de variables no pueden ser explicadas por otras variables.

**Tabla 6**

MSA de las variables

Overall MSA	MSA de las variables							
	Elementos de la diagonal de la matriz de correlación anti-imagen, los cuales permiten observar el valor de las medidas de adecuación que presenta cada variable y que se conoce como: "Measure of Sampling Adequacy" (MSA)							
MSA = 0.86	Talara	Paita	Lobos de Afuera	Chimbote	Chucuito	Pisco	San Juan	Matarani
	0.85	0.79	0.89	0.89	0.86	0.93	0.91	0.63

Kaiser-Meyer-Olkin factor adequacy

Call: KMO(r = nm1)

Overall MSA = 0.86

MSA for each ítem:

Talara	Paita	Lobos de Afuera	Chimbote	Chucuito	Pisco	San Juan	Matarani
0.85	0.79	0.89	0.89	0.86	0.93	0.91	0.63

Después de analizar la matriz de correlación y de comprobarse que la adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin es cercana a la unidad (lo adecuado para este tipo de análisis), lo mismo se cumple para cada una de las MSA de variables consideradas en el análisis y mediante la prueba de esfericidad de Bartlett se comprobó la pertinencia y validez de la matriz de datos.



## Etapa 2.

Los resultados obtenidos en la etapa 1, permite llevar a cabo el análisis factorial que implica extraer los distintos factores mediante la agrupación de las 8 variables en un nuevo conjunto de variables que se denominarán “componentes” o “factores” que son combinaciones de las variables originales.

### i. Extracción de los factores iniciales que representan a los datos originales.

El siguiente gráfico denominado de sedimentación es una forma exploratoria de elegir el número de factores a considerar en el análisis factorial. Con el siguiente criterio se considerarán 2 componentes principales que son las que cumplen con asociarse con 2 autovalores superiores a 1.

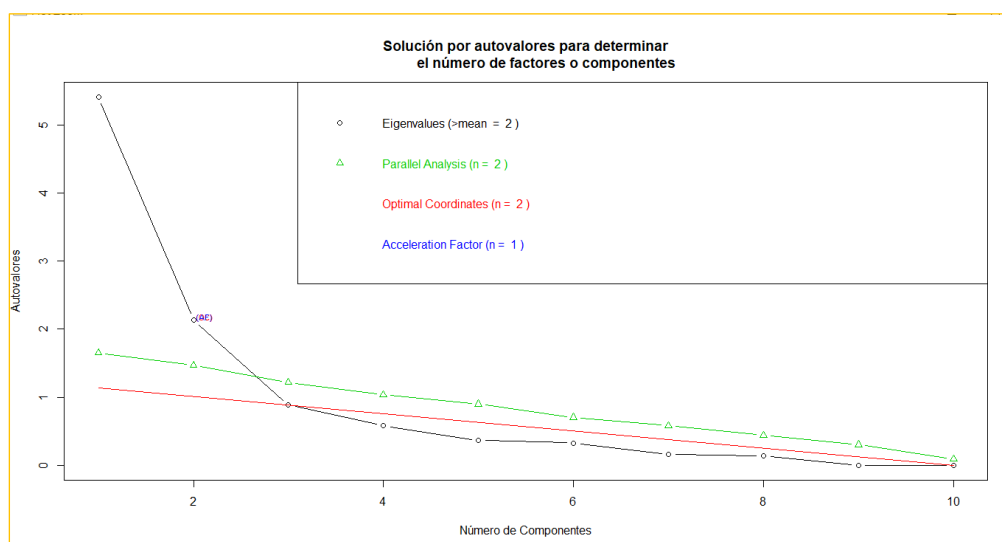


Figura 25. Gráfico de sedimentación

## Tabla 7

### Componentes principales

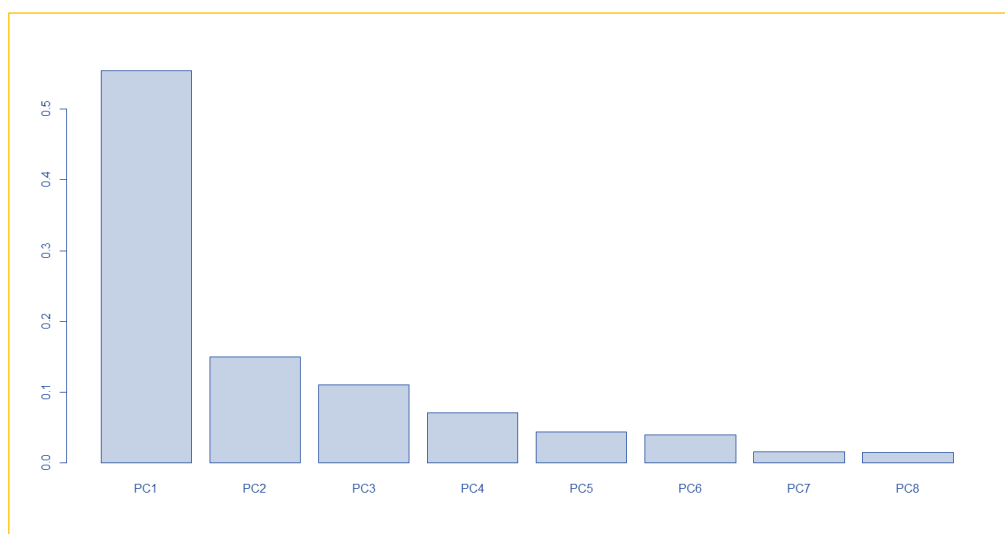
Estación	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
Talara	-0.4423679	0.10052256	-0.059726086	0.13040022	-0.16789802	0.22844921	0.28391098	0.782719720
Païta	-0.2438857	0.63987882	-0.191686139	-0.42068517	0.56006377	-0.04955695	-0.02920854	-0.019359729
LobosdeAfuera	-0.3839869	0.04805140	-0.113838540	-0.47542024	-0.66177930	-0.37579090	-0.09986192	-0.148722908
Chimbote	-0.4265321	-0.03821096	-0.110017663	0.16475208	-0.04397806	0.58758547	-0.61416736	-0.230154022
Chucuito	-0.4434709	-0.09328343	-0.016798240	0.18307843	0.07250308	0.11916595	0.67503145	-0.534515829
Pisco	-0.1829487	0.13445552	0.966455667	-0.09817818	0.02171697	0.01723799	-0.06277350	-0.008165227
SanJuan	-0.3877836	-0.12725523	-0.016776068	0.49179311	0.26951721	-0.66562092	-0.26760643	0.063120278
Matarani	-0.1869279	-0.73055275	0.005093673	-0.51752777	0.37401212	0.03647875	-0.01209525	0.148753659

Elaboración propia

**Tabla 8***Varianza total explicada*

Importance of components:								
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
Standard deviation	2.105	1.096	0.9391	0.75321	0.59549	0.56441	0.36093	0.33977
Proportion of Variance	0.554	0.150	0.1102	0.07092	0.04433	0.03982	0.01628	0.01443
Cumulative Proportion	0.554	0.704	0.8142	0.88514	0.92947	0.96929	0.98557	1.00000

Fuente: Elaboración propia

*Figura 26.* Porcentaje de varianza de las componentes.**Tabla 9***Autovalores*

$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	$\lambda_7$	$\lambda_8$
4.4317	1.2002	0.8819	0.5673	0.3546	0.3186	0.1303	0.1154

Elaboración propia

Los resultados presentados en la Tabla 9, dan el sustento para elegir dos factores puesto que el valor del tercer autovalor asociado al tercer factor es inferior a la unidad. Los dos factores retienen el 70.4% de la variación total. Es decir, explican el 70.4% de la variación total.

La correlación entre una componente principal y una variables es conocida en el contexto del análisis de componentes principales como factores de carga o coeficientes espaciales. Teniendo en cuenta que la suma de cuadrados de los coeficientes de correlación entre una variable y todas las componentes es igual a la unidad.

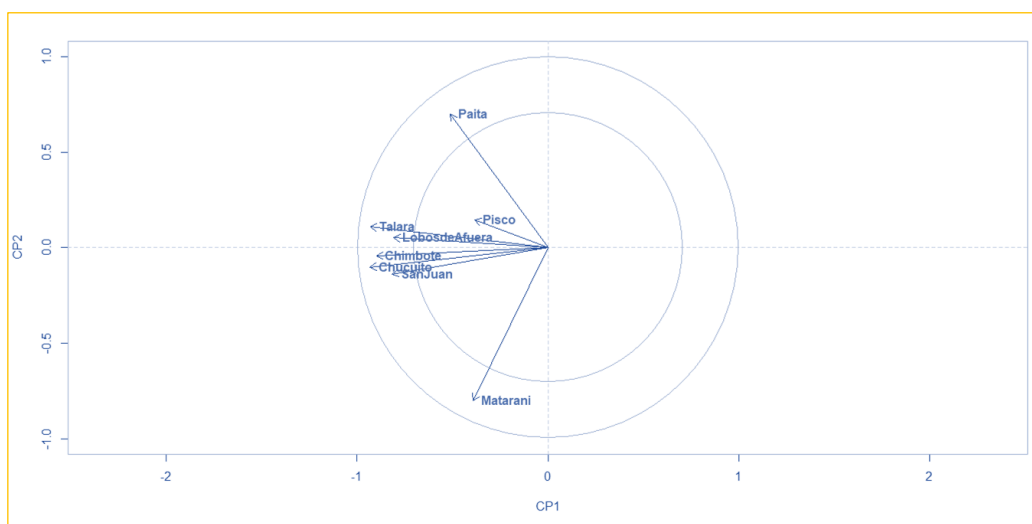


Figura 27. Correlaciones entre variables y componentes.

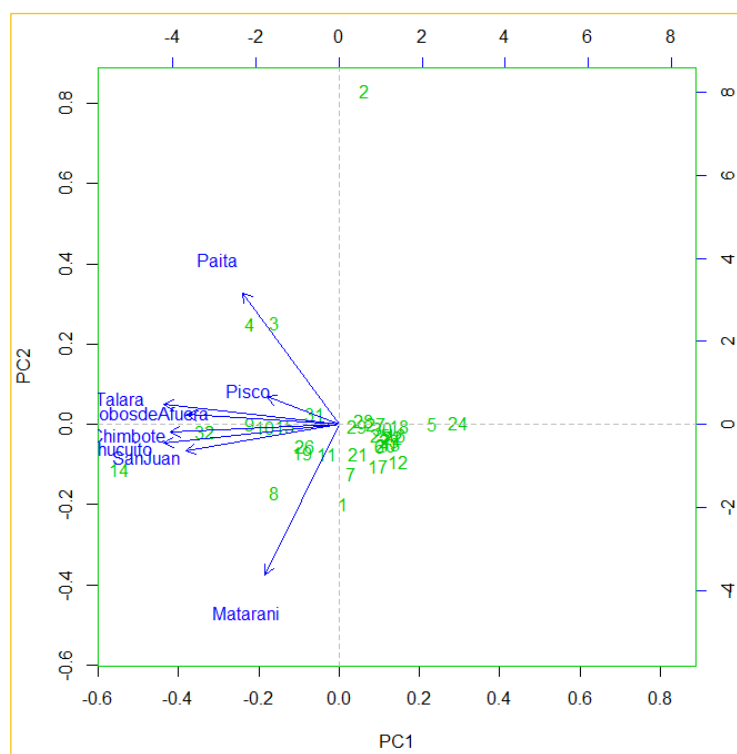


Figura 28. Correlaciones entre variables y componentes.

La Tabla 10 muestra los resultados obtenidos mediante la rotación varimax por el método de componentes principales.

**Tabla 10**

*Matriz de componentes rotado*

<b>Nivel del mar por Estación</b>	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>
Talara	0.936	-0.051
Paita	0.557	-0.667
Lobos de Afuera	0.810	-0.001
Chimbote	0.893	0.099
Chucuito	0.925	0.161
Pisco	0.394	-0.123
San Juan	0.806	0.191
Matarani	0.342	0.824

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.

La rotación converge en 3 iteraciones.

*Elaboración propia de la investigación*

La información presentada en la Tabla 10, evidencia que el factor 1 se asocia con los niveles del mar de las estaciones de Talara, Lobos de Afuera, Chimbote, Chucuito y San Juan; mientras que en el segundo factor está asociado con los niveles del mar de Matarani y Paita. Puede evidenciarse que Pisco no queda bien representado en ninguno de dichos factores.

### **4.3 Análisis e interpretación de datos del pH durante los años 2005 hasta 2012, en 25 zonas de monitoreo a lo largo del litoral peruano.**

#### **4.3.1 Análisis exploratorio del pH en las 25 zonas de monitoreo.**

El análisis exploratorio de datos mediante el diagrama de cajas del pH mínimo y del pH máximo durante los años 2005 hasta 2012, en las zonas de monitoreo (25): Arequipa, Callao, Caleta Culebras, Cañete, Carquín, Casma, Cerro Azul, Chancay, Chimbote, Chorrillos, Coishco, Huacho, Huarmey, Paita, Pampa Melchorita,

Paramonga, Pisco, Pucusana, Samanco, San Bartolo, San Juan, Sechura, Supe, Talara, Végueta.

**Tabla 11**

*Medidas descriptivas del pH mínimo en las 25 zonas de monitoreo durante los años 2005-2012*

ZONA DE MONITOREO	n	Mínimo	Máximo	6.8	Desviación estándar	CV
		del pH mínimo	del pH mínimo	Media		
Arequipa	8	7.32	7.6	7.48	0.10	1.37
Callao	8	6.71	7.54	7.25	0.29	4.06
CaletaCu	8	7.32	8.07	7.57	0.23	2.99
Cañete	8	6.61	7.83	7.27	0.43	5.96
Carquín	8	2.46	7.62	6.62	1.74	26.20
Casma	8	7.32	7.96	7.61	0.23	3.04
Cerro Azul	8	6.89	7.78	7.43	0.31	4.13
Chancay	8	6.54	7.46	6.95	0.30	4.37
Chimbote	8	7.05	8.25	7.50	0.34	4.57
Chorrillos	8	7.32	7.7	7.52	0.12	1.59
Coishco	8	7.32	8.12	7.56	0.24	3.24
Huacho	8	6.72	7.7	7.23	0.34	4.76
Huarmey	8	6.85	7.61	7.41	0.26	3.51
Paita	8	7.19	8.03	7.57	0.31	4.16
PampaM	8	6.51	7.72	7.30	0.40	5.51
Paramonga	8	6.97	7.71	7.44	0.24	3.19
Pisco	8	7.32	7.6	7.45	0.11	1.42
Pucusana	8	6.38	7.89	7.44	0.46	6.22
Samanco	8	7.32	8.31	7.62	0.33	4.29
SanBar	8	6.54	7.82	7.41	0.38	5.08
SanJuan	8	7.36	7.6	7.49	0.08	1.11
Sechura	8	6.87	7.84	7.37	0.34	4.66
Supe	8	7.32	7.85	7.53	0.19	2.54
Talara	8	7.32	7.82	7.54	0.20	2.61
Végueta	8	6.17	7.58	7.06	0.53	7.54

Elaboración propia de la investigación.

De la Tabla 11, se puede observar que el pH mínimo presenta la mayor dispersión relativa (26.20%) en la Bahía de Carquín.

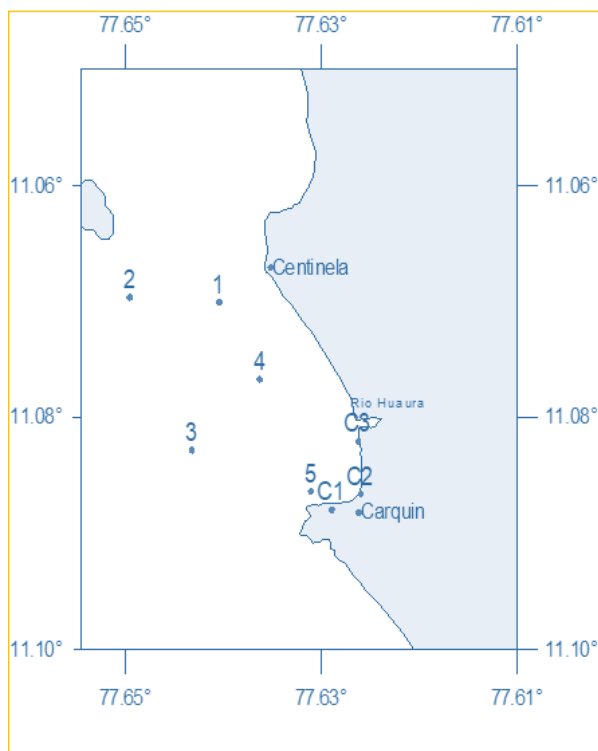


Figura 29. Estaciones de la bahía de Calquín.

**Tabla 12**

*Resumen de la medidas descriptivas del pH máximo en las 25 zonas de monitoreo durante los años 2005-2012.*

Zona	N	Mínimo	Máximo	8.5 Media	Desviación estándar	Coefficiente variación
Arequipa	8	7.74	8.6	7.98500	0.28636	3.59
Callao	8	7.8	8.6	8.24630	0.30463	3.69
Caleta Culebra	8	7.75	8.22	7.86630	0.14725	1.87
Cañete	8	7.86	8.43	8.06750	0.21292	2.64
Carquín	8	7.53	8.03	7.75750	0.16246	2.09
Casma	8	7.82	8.17	7.87880	0.11837	1.50
Cerro Azul	8	7.16	8.34	7.81250	0.32949	4.22
Chancay	8	7.62	8.05	7.83630	0.1406	1.79
Chimbote	8	7.82	8.66	7.99370	0.30364	3.80
Chorrillos	8	7.82	8.9	8.10880	0.41824	5.16
Coischo	8	7.82	8.21	7.88750	0.13145	1.67
Huacho	8	7.58	8.08	7.79370	0.17443	2.24
Huarmey	8	7.74	8.31	7.91000	0.20473	2.59
Paita	8	7.84	8.27	8.06880	0.1382	1.71
Pampa M	8	7.56	8.37	7.98000	0.2915	3.65
Paramonga	8	7.79	8.45	7.95370	0.22251	2.80
Pisco	8	7.82	8.93	8.13750	0.48805	6.00
Pucusana	8	7.71	8.16	7.91750	0.16334	2.06
Samanco	8	7.82	8.43	7.99370	0.23293	2.91
San Bartolo	8	7.08	8.07	7.73130	0.28673	3.71
San Juan	8	7.7	8.14	7.87000	0.16062	2.04
Sechura	8	7.77	8.33	8.06130	0.18504	2.30
Supe	8	7.71	8.09	7.86000	0.11161	1.42
Talara	8	7.72	8.2	7.93120	0.16453	2.07
Végueta	8	7.55	7.96	7.76370	0.13575	1.75

Elaboración propia de la investigación.

Los resultados de la Tabla 12, indican que el pH máximo es homogéneo en todas las zonas de monitoreo en estudio.

De acuerdo a la NASA “los océanos constituyen un gran regulador de clima del planeta, debido a que absorbe el CO<sub>2</sub> manteniendo el pH en equilibrio. Un desequilibrio del pH del océano significaría la desaparición de la gran parte de las especies que lo habitan”.

Los estándares establecidos en la Ley General de Aguas para el pH se encuentran entre 5.5 a 9. En la Figura 30, se evidencia que en la estación de Carquín hay un valor muy pequeño inferior a 3.

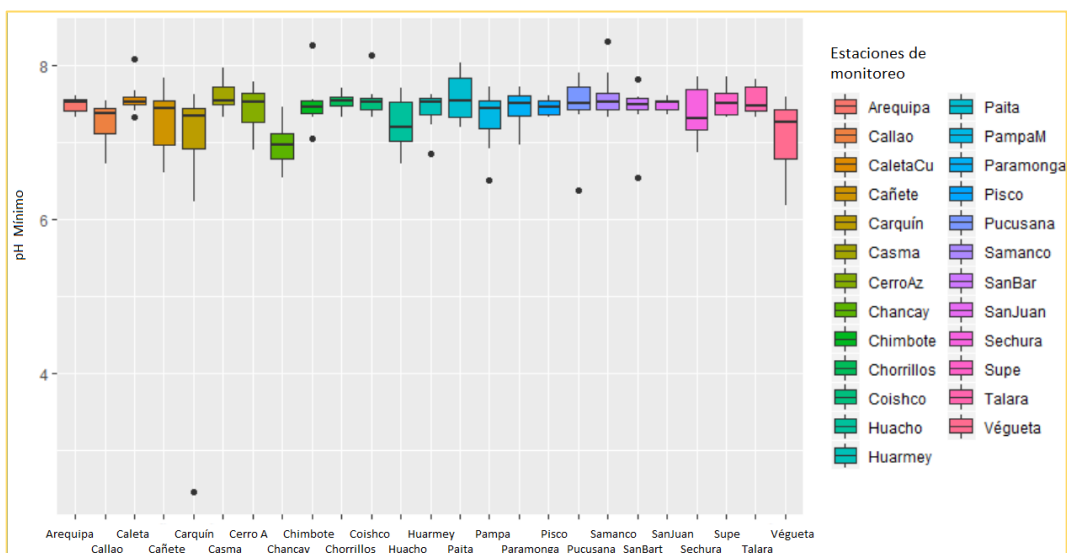


Figura 30. Distribución espacial del pH mínimo de las 25 zonas de monitoreo.2005-2012

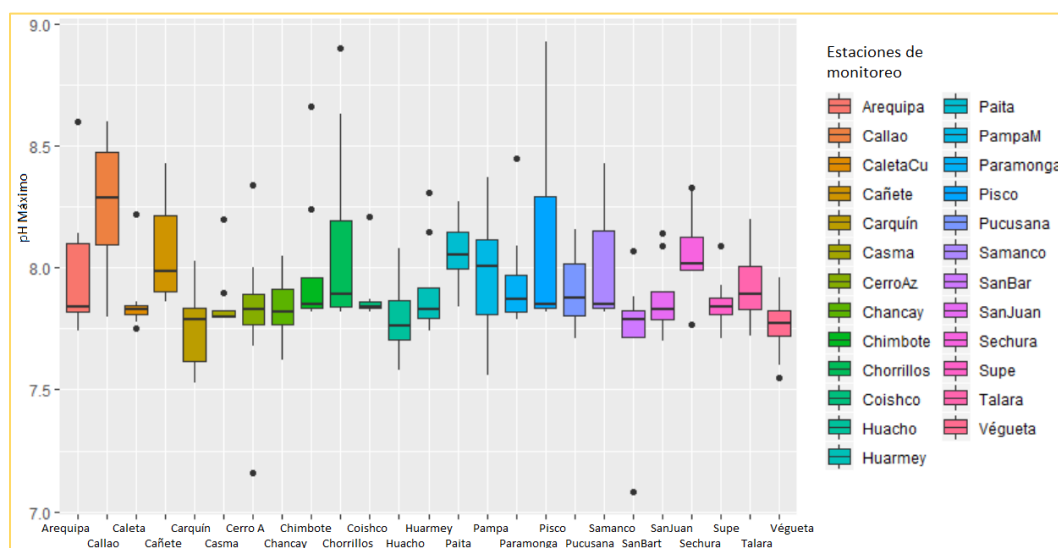


Figura 31. Distribución espacial del pH máximo de las 25 zonas de monitoreo.2005-2012

En la Figura 31, se observa que en la estación de Carquín existe una observación discordante que corresponde al año 2006, este resultado concuerda con IMARPE que considera a la bahía de Carquín como de alto riesgo de contaminación, debido a que recibe la desembocadura del río Huaura, la emisión de efluentes, y la desembocadura de las aguas servidas de los distritos de Huaura, Huacho, Carquín y Santa María. Además, en las zonas de Caleta Culebras, Chimbote, Coishco y San Bartolo el pH registrado en el año 2008 tiene un comportamiento atípico.

El pH es considerado un indicador de calidad y tiene una escala que se extiende desde el 0 (muy ácido) a 14 (muy alcalino), siendo 7 la neutralidad exacta a 25°C. En la Figura 32, se presenta el comportamiento del pH mínimo registrado en las 25 estaciones de monitoreo y durante los años 2005-2012. El histograma y la función de densidad empírica muestran un comportamiento asimétrico del pH mínimo. Mientras que el Q-Q Plot o gráfico de probabilidad normal se observa que los datos del pH mínimo no guarda concordancia con la distribución normal (línea recta del gráfico) y el diagrama de cajas que muestra la existencia de outliers.

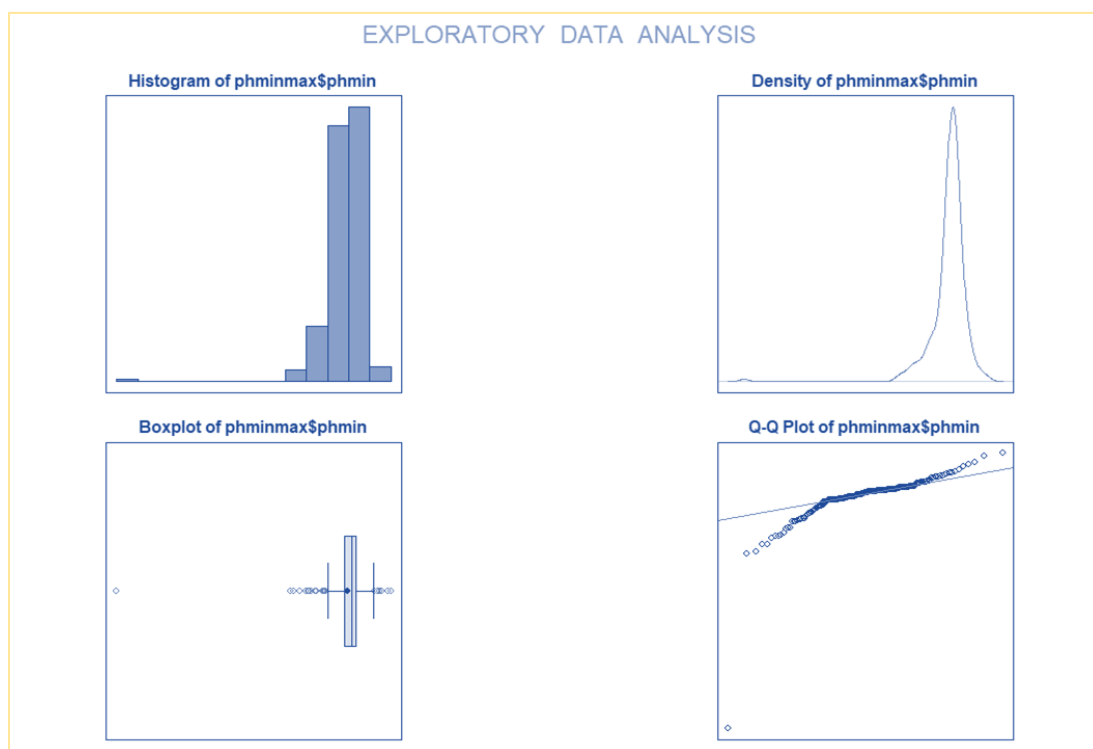


Figura 32. Análisis exploratorio del pH mínimo en las 25 bahías en estudio y durante el periodo 2005 -2012.



En la Figura 33, se presenta la distribución conjunta del pH mínimo y pH máximo durante los años 2005 a 2012 en las 25 zonas de monitoreo y observa que la bahía de Carquín se diferencia de las demás con un comportamiento discordante respecto a los otros puntos de monitoreo.

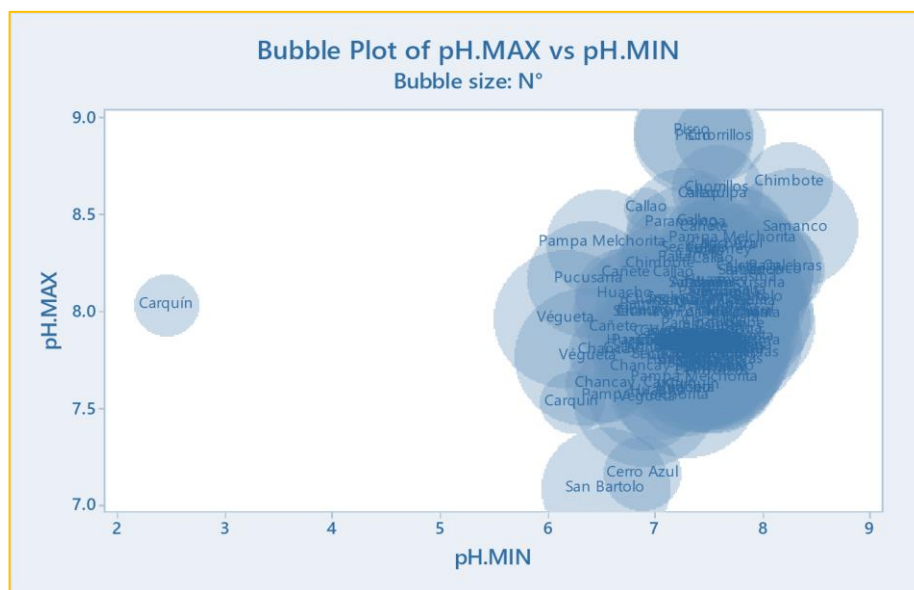


Figura 33. Diagrama de burbujas del pH mínimo versus el pH máximo considerando las 25 zonas de monitoreo. 2005-2012.

#### 4.3.2 Distribución normal multivariada: Análisis exploratorio y confirmatorio del pH.

La distribución normal multivariada es utilizada como supuesto de diversos métodos estadísticos paramétricos, la validación de este importante supuesto es muy importante. Existen distintas pruebas estadísticas, pero se ha demostrado que la prueba de Royston tiene una mayor potencia cuando el tamaño de muestra aumenta. En la Figura 34, se muestra el gráfico exploratorio de Royston, y se observa que un grupo de datos se aleja de la línea vertical indicando la falta de normalidad bivariente.

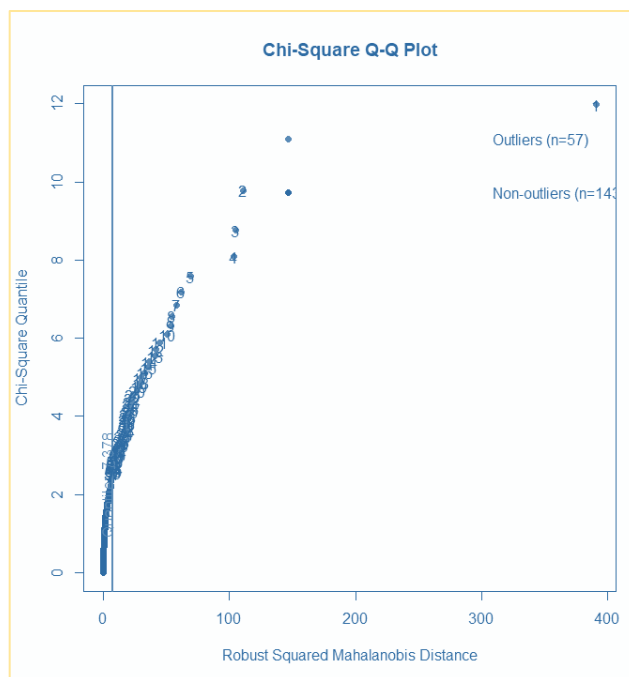


Figura 34. Gráfico exploratorio de Royston asociado al test para contrastar la normalidad bivalente entre el pH mínimo y máximo. En el proceso se consideraron las 25 zonas de monitoreo durante 2005-2012.

A continuación se presenta el análisis conformatorio mediante el test de Royston .

### Tabla 13

Test para contrastar la hipótesis de normalidad bivalente entre el pH mínimo y el pH máximo.

Hipótesis	Estadístico de Prueba	Criterio de Decisión
$H_0$ : El pH mínimo y pH máximo tienen distribución normal bivalente. $H_1$ : El pH mínimo y pH máximo no tienen distribución normal bivalente. $\alpha = 0.05$	H = 137.0959	Se rechaza la hipótesis nula si: p-valor < 0.05 En este caso p-valor=1.69875e-30 < 0.05

**Conclusión:** La prueba es significativa. La prueba es significativa. Se concluye que el pH mínimo y el pH máximo **no** tienen distribución normal bivalente.

Test	H	p value	MVN
1 Royston	137.0959	1.69875e-30	NO

El pH mínimo y el pH máximo no tienen distribución normal, para contrastar si estos valores se encuentran dentro de los Estándares de Calidad de Aguas, establecidos en la Ley General de Aguas se realizará un análisis confirmatorio mediante el test de Wilcoxon.

### 4.3.3 Test de Wilcoxon: Análisis confirmatorio para validar los estándares de calidad del pH.

El test de Wilcoxon es una metodología de la estadística no paramétrica que se caracteriza por la ausencia de supuestos respecto a la distribución de probabilidad que sigue la población desde la cual se ha seleccionado la muestra y tienen mayor eficiencia en distribuciones asimétricas, o cuando existen observaciones discordantes denominadas “outliers”. Las pruebas no paramétricas son denominadas también de distribución libre. El cálculo de su estadístico de prueba se basa en la jerarquización de los datos y asignarles rangos y el criterio de decisión está basado en el p-valor. Si el p-valor es inferior al nivel de significación implica el rechazo de la hipótesis nula.

**Tabla 14**

*Test de Wilcoxon para contrastar la mediana del pH mínimo.*

Hipótesis	Estadístico de Prueba	Criterio de Decisión
$H_0$ : La mediana del pH mínimo es igual a 5.5 $H_1$ : La mediana del pH mínimo es superior a 5.5 $\alpha = 0.05$	V = 19900	Se rechaza la hipótesis nula si: p-valor < 0.05 p-valor = 2.2e-16 < 0.05
<p><b>Conclusión:</b> La prueba es significativa. Se concluye que existe evidencia para afirmar que el pH mínimo es superior a 5.5.</p>		

```
Wilcoxon signed rank test with continuity
correction
data: phminmax$phmin
V = 19900, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location is greater than 5.5
```

Se puede concluir que los valores del pH mínimo no son inferiores a 5.5, por lo tanto, se encuentran incursos dentro de los Estándares de Calidad de Aguas, establecidos en la Ley General de Aguas.

Equivalentemente se realizará el test de hipótesis para contrastar si el valor del pH máximo cumple con los estándares establecidos en la Ley General de Aguas mediante el Test de Wilcoxon.

**Tabla 15**

*Test de Wilcoxon para contrastar la mediana del pH máximo.*

Hipótesis	Estadístico de Prueba	Criterio de Decisión
$H_0$ : La mediana del pH máximo es igual a 9		Se rechaza la hipótesis nula si:
$H_1$ : La mediana del pH máximo es inferior a 9	$V = 0$	p-valor < 0.05
$\alpha = 0.05$		p-valor = $2.2e-16 < 0.05$
<b>Conclusión:</b> La prueba es significativa. Se concluye que existe evidencia que el pH máximo es inferior a 9.		
<pre>Wilcoxon signed rank test with continuity correction data: phminmax\$phmax V = 0, p-value &lt; 2.2e-16 alternative hypothesis: true location is less than 9</pre>		

Mediante los resultados obtenidos en la prueba de hipótesis presentada en la Tabla 15, se puede afirmarse que los valores del pH máximo se encuentran dentro de los Estándares de Calidad de Aguas, establecidos en la Ley General de Aguas.

#### **4.3.4 Análisis clúster de los niveles de pH promedio de las 25 bahías en estudio durante los años 2005 a 2012.**

Con el objetivo de observar el patrón de agrupamiento y determinar la posible relación entre los pH de las 25 bahías en estudio se realizó el clúster análisis. El clúster análisis permite realizar una clasificación de un conjunto en subgrupos homogéneos de tal forma que, los objetos pertenecientes a un mismo grupo sean muy semejantes entre sí y, que los objetos pertenecientes a grupos diferentes deben tener un comportamiento distinto con respecto a las variables analizadas.

Se conoce que en general, el mar en cualquier parte del planeta registra valores de pH superiores a 7, por lo cual se le denomina básico. En el caso de las 25 zonas de monitoreo del mar peruano, el pH promedio durante los años 2005 a 2012 fue de 7.66. El análisis clúster se realizó considerando el pH promedio de las 25 zonas de monitoreo del mar peruano durante los años 2005 a 2012 y con lo cual se conformaron dos clústeres.

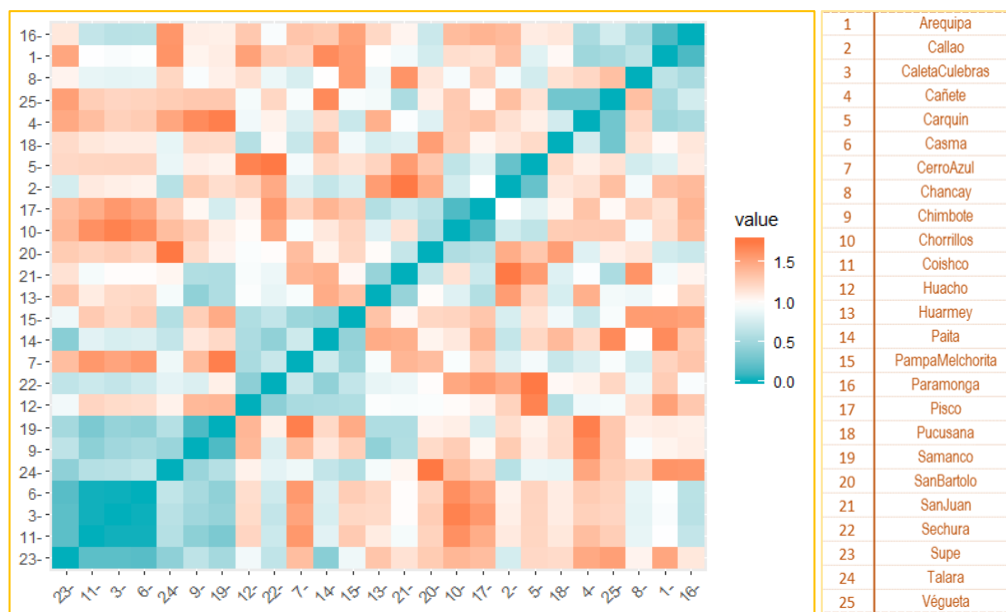


Figura 35. Mapa de calor de las distancias del pH de las 25 zonas de monitoreo en estudio.

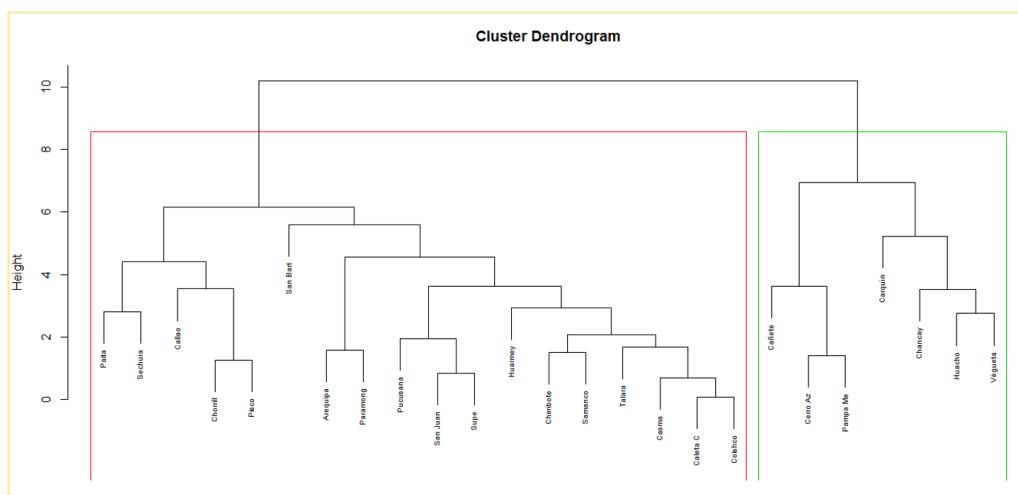


Figura 36. Dendrograma del pH de las 25 zonas de monitoreo en estudio:

**Tabla 16**

*Zonas de monitoreo consideradas en el análisis*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Zona de monitoreo	Arequipa	Callao	CaletaCul	Cañete	Carquín	Casma	CerroAzul	Chancay	Chimbote	Chorrillos	Coishco	Huacho	Huarmey
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
	Paita	PampaMel	Paramonga	Pisco	Pucusana	Samanco	SanBartolo	SanJuan	Sechura	Supe	Talara	Végueta	

Elaboración propia de la investigación.

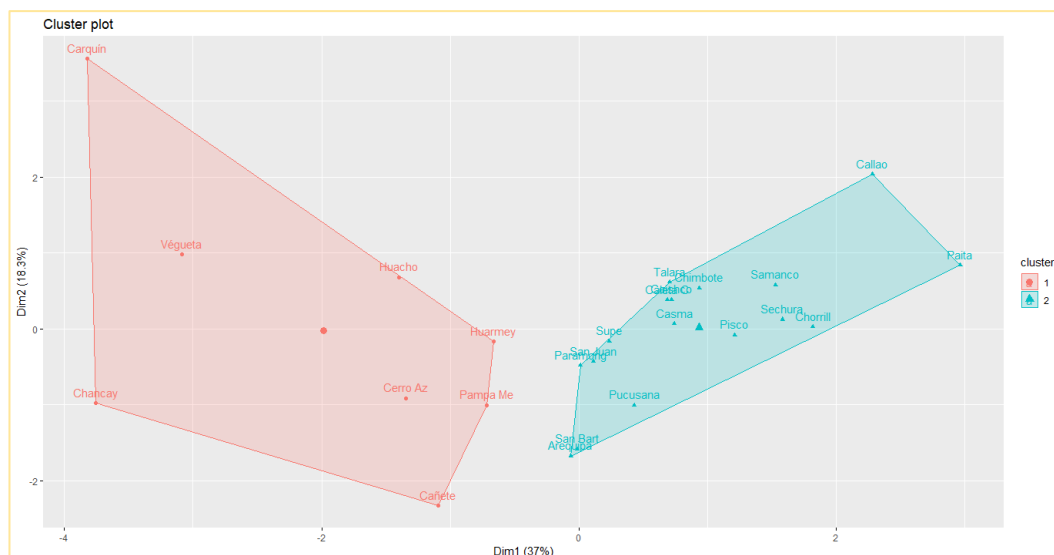


Figura 37. Agrupación robusta del pH de las 25 zonas de monitoreo

**Tabla 17**

Medidas descriptivas del pH de los clúster conformados por las 25 zonas de monitoreo.

Cluster1										Estadísticos	
Zona1	Arequipa	Callao	Ieta Culebr	Casma	Chimbote	Chorrillos	Coishco	Paita	Paramonga	Media	7.726
pH	7.73	7.75	7.72	7.74	7.75	7.82	7.72	7.82	7.70	Mediana	7.728
	Pisco	Pucusana	Samanco	San Bartolo	San Juan	Secura	Supe	Talara	Huarney	Desv.Est	0.061
	7.79	7.68	7.81	7.57	7.68	7.72	7.69	7.74	7.66	CV	0.792
Cluster2										Estadísticos	
Zona2	Cañete	Carquín	Cerro Azul	Chancay	Huacho	Pampa Melch	Végueta			Media	7.491
pH	7.67	7.19	7.62	7.39	7.51	7.64	7.41			Mediana	7.512
										Desv.Est	0.171
										CV	2.289

Elaboración propia de la investigación.

Con el objetivo de validar la conformación de los clústeres se realiza el test de Mann-Whitney. El test de Mann-Whitney es un test no paramétrico para contrastar las medianas de dos poblaciones independientes.

**Tabla 18**

Test de Mann-Whitney para contrastar la medianas de los clúster obtenidos.

Hipótesis	Estadístico de Prueba	Criterio de Decisión
$H_0: M_1 = M_2$ $H_1: M_1 \neq M_2$ $\alpha = 0.05$	W = 293	Se rechaza la hipótesis nula si: p-valor < 0.05 p-valor = 0.0004 < 0.05

**Conclusión:** La prueba es significativa. Se concluye que existe diferencia entre el pH mediano entre los clúster 1 y clúster 2 respectivamente.

Point estimate for M1 - M2 is 0.2048  
95.1 Percent CI for M1 - M2 is (0.0937;0.3397)  
W = 293.0  
Test of M1 = M2 vs M1 ≠ M2 is significant at 0.0004

#### 4.4 Análisis estadístico de las concentraciones de oxígeno y nutrientes en la superficie del agua de mar frente al Callao, registro mensual durante los años 1996 a 2012.

Los datos para el análisis han sido obtenidos de las operaciones de mar dentro de las 20 millas frente al Callao. La concentración y disponibilidad de nutrientes para los organismos autótrofos en aguas superficiales depende de los procesos de afloramiento, mezcla vertical de la columna de agua, de la circulación oceánica, aportes fluviales, incorporación por organismos productores, regeneración por actividad bacteriana (Barbeau, 2006). Además, varía con el grado de estacionalidad del ambiente bajo estudio, la profundidad al fondo marino y los gradientes de productividad de cada ecosistema.

**Tabla 19**

*Análisis descriptivo de las concentraciones de oxígeno y nutrientes mensual en la superficie del agua de mar frente al Callao, 1996-2012.*

Variable	n	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Oxígeno	204	,870	8,120	4,44711	1,018190
Fosfatos	204	,240	3,660	1,75480	0,514127
Silicatos	204	1,840	75,110	11,08936	7,691833
Nitratos	204	,040	18,240	6,90245	4,553101
Nitritos	204	,040	6,410	0,61961	0,619891

*Elaboración propia de la investigación.*

Los resultados han sido obtenidos de las operaciones de mar dentro de las 20 millas frente al Callao. La presencia de materia orgánica y de nutrientes en exceso implican la proliferación de algas, generando procesos de putrefacción, que consume el oxígeno disuelto.

Análisis exploratorio para observar el patrón de comportamiento de las variables oxígeno (mL/L), fosfatos( $\mu$ M), silicatos( $\mu$ M), nitratos( $\mu$ M) y nitritos ( $\mu$ M) mensual en la superficie del agua de mar frente al Callao, 1996-2012.

#### 4.4.1 Análisis exploratorio y ANOVA: Oxígeno disuelto.

El oxígeno es un elemento clave en la respiración celular tanto para la vida acuática como para la vida terrestre, permitiendo la existencia de la mayoría de los organismos acuáticos. La concentración de oxígeno disuelto en un ambiente acuático es un indicador de la calidad del agua. La cantidad de oxígeno disuelto superficial en el agua de mar varía entre 1,0 ml/L y 8,5 ml/L. La siguiente tabla de distribución de frecuencias presenta la distribución de la variable oxígeno.

Los datos han sido obtenidos de las operaciones de mar dentro de las 20 millas frente al Callao (IMARPE).

**Tabla 20**

*Distribución de frecuencias de la variable oxígeno en la superficie del agua de mar frente al Callao, 1996-2012.*

Oxígeno (mL/L)	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
[0.87 - 2.08)	5	2,5	5	2,5
[2.08 - 3.29)	12	5,9	17	8,3
[3.29 - 4.50)	98	48,0	115	56,4
[4.50 - 5.71)	67	32,8	182	89,2
[5.71 - 6.92)	20	9,8	202	99,0
[6.92 - 8.13)	2	1,0	204	100,0
Total	204	100,0		

*Elaboración propia de la investigación.*

mL/L: Mililitro por litro.

Se puede afirmar que en 67 de los 204 meses analizados durante los años 1996 a 2012 frente al mar del Callao, los valores del oxígeno se encontraron entre 3.294.5 a 5.71, indicando que casi todos los organismos pueden sobrevivir indefinidamente, teniendo en consideración los valores de los otros parámetros. El exceso como la falta de oxígeno en el agua es perjudicial.

El exceso de materia orgánica y de nutrientes hacen proliferar las algas, generando procesos de putrefacción, que consume el oxígeno disuelto en el mar y los peces y otros organismos mueren.



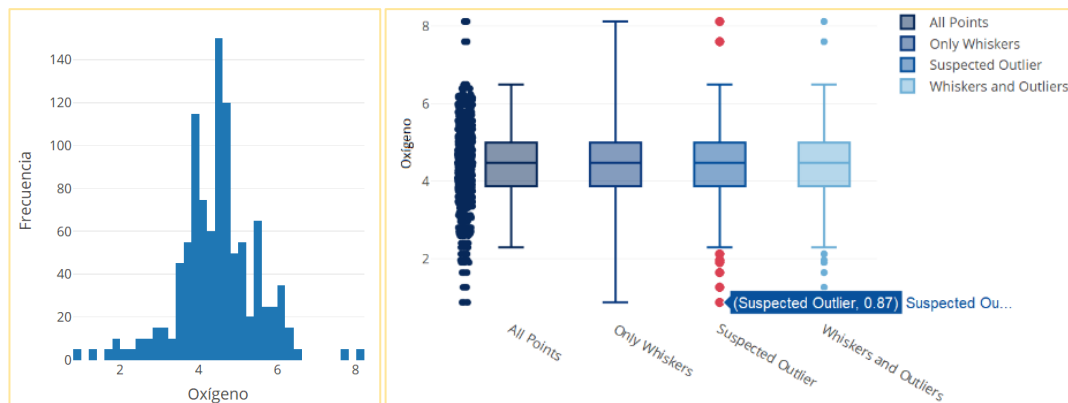


Figura 38. Histograma y boxplot de la variable oxígeno. Callao 1996-2012.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/CallaoOxHist19962012.html>

La variable oxígeno presenta una distribución asimétrica negativa (-0.15) y con presencia de outliers.

**Función de densidad empírica de la variable oxígeno y su respectivo gráfico de probabilidad normal.**

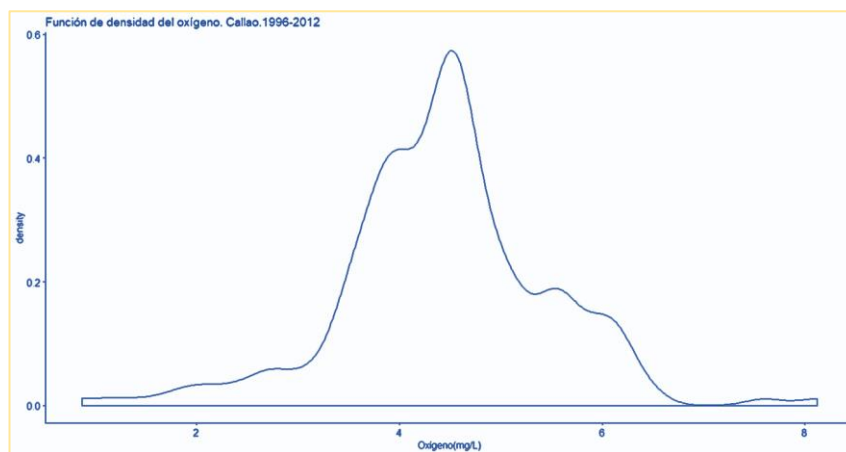


Figura 39. Función de densidad empírica de la variable oxígeno.

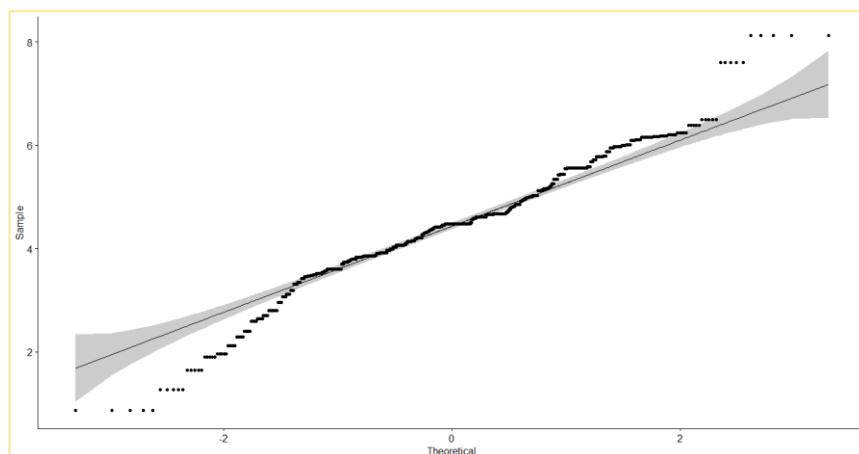


Figura 40. Q-Q plot. de la variable oxígeno.

Exploratoriamente, se observa que la variable oxígeno no tiene distribución normal. Se presenta en la siguiente tabla la prueba confirmatoria respecto a la distribución de probabilidad de la variable oxígeno.

**Tabla 21**

*Test de Shapiro Wilk: Contraste de la normalidad de la variable oxígeno.*

Hipótesis	Estadístico de Prueba	Criterio de Decisión
$H_0$ : La variable oxígeno tiene distribución normal $H_1$ : La variable oxígeno no tiene distribución normal $\alpha = 0.05$	<b>W = 0.96875</b>	Se rechaza la hipótesis nula si: p-valor < 0.05 En este test se obtiene un p-valor = 5.307e-14 < 0.05 Por lo tanto, se rechaza $H_0$ .
<b>Conclusión:</b> El test es significativo. La variable oxígeno no tiene distribución normal.		
Shapiro-Wilk normality test W = 0.96875, p-value = 5.307e-14		

La distribución del oxígeno en el Callao, durante los años 1996-2012 no tiene distribución normal. Según los estándares de calidad los valores del oxígeno debe ser superiores a 4 mg/L. Se realizará el test no paramétrico de Wilcoxon para contrastar la que la mediana del oxígeno cumple con los estándares de calidad.

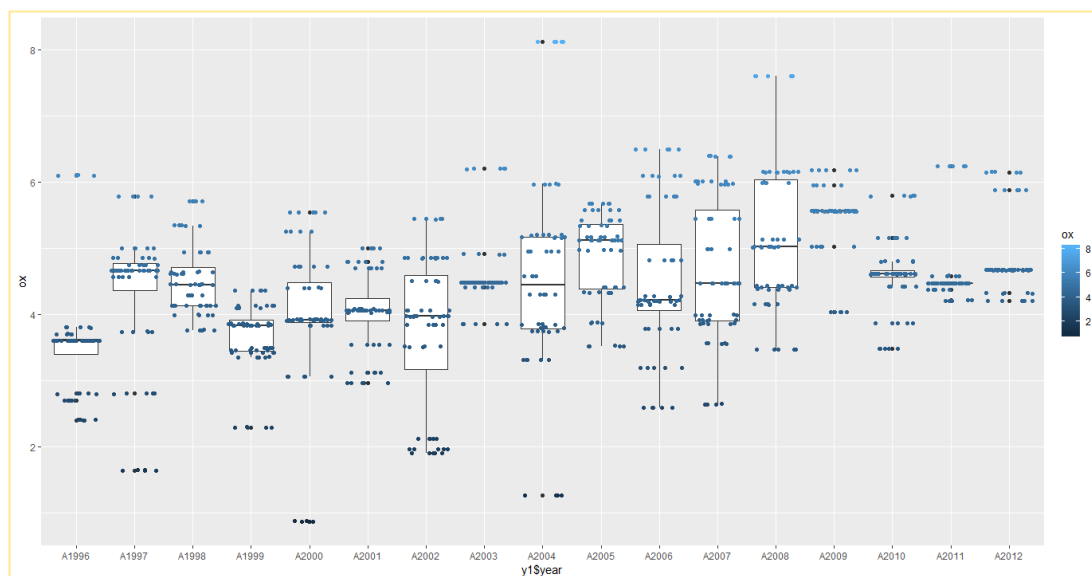
**Tabla 22**

*Test para contrastar la mediana de la variable oxígeno.*

Hipótesis	Estadístico de Prueba	Criterio de Decisión
$H_0: Me = 4$	W= 15973.5	Se rechaza la hipótesis nula si el p-valor <
$H_1: Me > 4$		0.05
$\alpha = 0.05$		En este caso el p-valor = 0 < 0.05 Por lo tanto, se rechaza $H_0$ .
<b>Conclusión:</b> El test es significativo. La mediana de la variable oxígeno es superior a 4 mg/L.		

Se puede concluir que los valores del oxígeno en el Callao durante 1996-2012, cumple con los estándares de calidad.

La Figura 38, muestra mediante un diagrama de caja múltiple la evolución del oxígeno en el periodo 1996-2012.



*Figura 41.* Evolución anual del oxígeno:1996-2012.

Análisis exploratorio del oxígeno en periodos de tiempo.

Agrupación de la variable oxígeno en los siguientes periodos de tiempo.

Grupo 1: Periodo 1996-1999

Grupo 2: Periodo 2000-2005

Grupo 3: Periodo 2006-2012

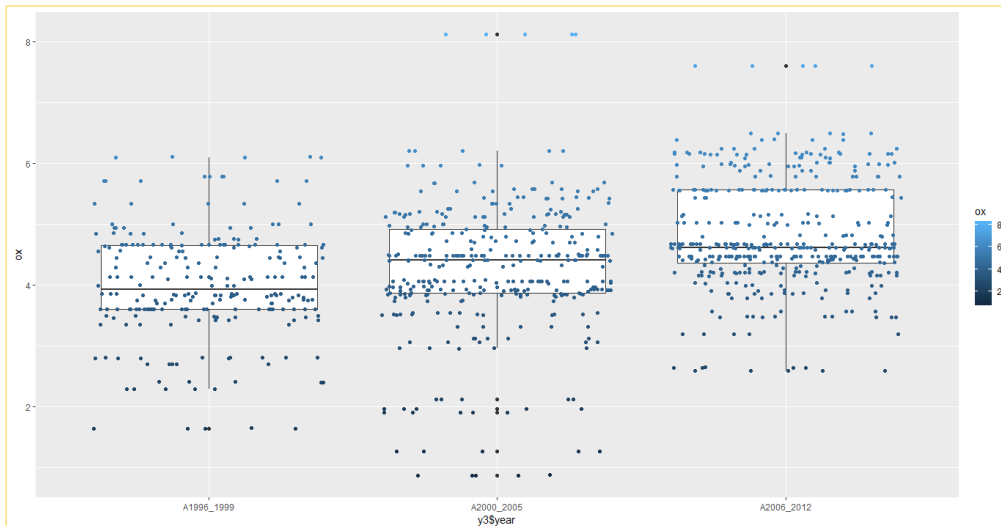


Figura 42. Evolución del oxígeno por periodos de tiempo: 1996-1999, 2000-2005, 2006-2012.

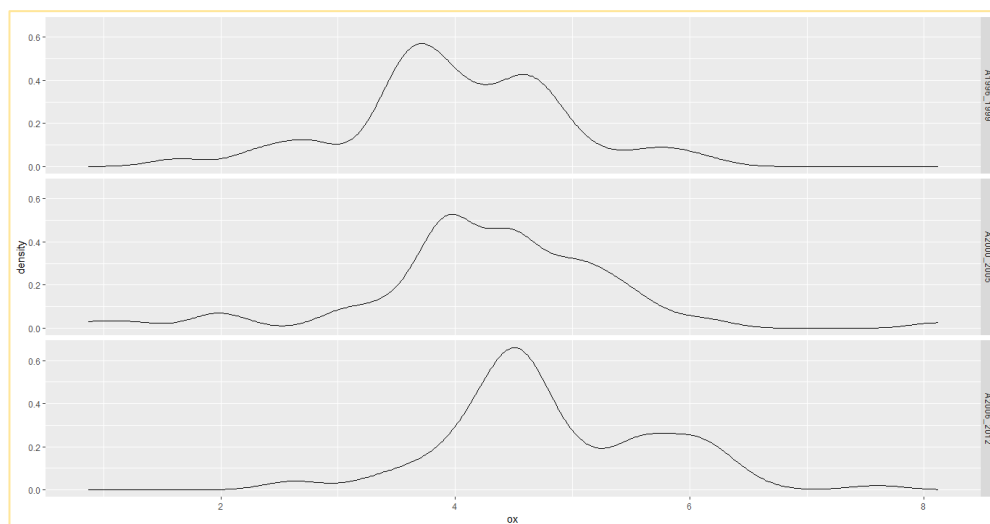


Figura 43. Función de densidad empírica del oxígeno por periodos de tiempo: 1996-1999, 2000-2005, 2006-2012

El análisis exploratorio muestra la diferencia entre los periodos considerados para la evaluación del oxígeno. Para confirmar esta diferencia se realizó el análisis de varianza no paramétrico para contrastar la igualdad de las medianas de los valores del oxígeno en los tres grupos en estudio.

**Tabla 23**

*Test de Kruskal-Wallis para contrastar las medianas de la variable oxígeno en tres periodos en estudio.*

Hipótesis	Estadístico de Prueba	Criterio de Decisión
$H_0: M_1 = M_2 = M_3$		Se rechaza la hipótesis nula si el
$H_1$ : Al menos una de las medianas es diferente	$K = 119.87$	p-valor $< 0.05$
$\alpha = 0.05$		En este caso el p-valor $= 2.2e-16 < 0.05$ Por lo tanto, se rechaza $H_0$ .

**Conclusión:** El test es significativo. Al menos una de las medianas es diferente.

El ANOVA de Kruskal-Wallis, permite concluir que al menos una de las medianas de los grupos en estudio es diferente.

Kruskal-Wallis rank sum test  
Kruskal-Wallis chi-squared = 119.87, df = 2, p-value < 2.2e-16

Los resultados presentados en la siguiente tabla corresponden a los p-valores de los contrastes realizados por pares de grupos, en todos los casos el p-valor es inferior a 0.05 lo cual implica que existe diferencia significativa entre las medianas de los grupos considerando una comparación por pares.

**Tabla 24**

*Test de Wilcoxon para comparar medianas por pares de periodos de tiempo: p-valor*

	A1996_1999	A2000_2005
A2000_2005	1.8e-05	-
A2006_2012	< 2e-16	2.0e-12

*Elaboración propia de la investigación.*

Pairwise comparisons using Wilcoxon rank sum test  
data: y3\$ox and y3\$year  
A1996\_1999 A2000\_2005  
A2000\_2005 1.8e-05 -  
A2006\_2012 < 2e-16 2.0e-12  
p-value adjustment method: holm Pairwise comparisons using Wilcoxon rank sum test

La cantidad de oxígeno disuelto superficial en el agua de mar oscila entre 1,0 ml/L y 8,5 ml/L, en ocasiones el valor máximo puede ser superado.

#### 4.4.2 Análisis de correspondencia simple para las categorías de las variables: Oxígeno, fosfatos, silicatos, nitratos y nitritos.

El análisis de correspondencia es un método estadístico multivariante que tiene como objetivo principal crear un mapa de la posición relativa de las variables cualitativas estudiadas con cada uno de sus valores posibles, la posición evidencia el grado de asociación entre ellas. Las variables oxígeno, fosfato, silicato, nitrato y nitrito consideradas en el análisis de correspondencia fueron recodificadas como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 25.**

*Transformación de las variables oxígeno, fosfatos, silicatos, nitratos y nitritos en variables categóricas.*

Intervalo				
Oxígeno	Fosfatos	Silicatos	Nitratos	Nitritos
[ 0.87 - 3.8626)	[0.2400 - 1.4000)	[ 1.8400 - 6.4100)	[ 0.0400 - 2.6925)	[0.0400 - 0.3500)
[3.8626 - 4.9975)	[1.4000 - 2.0675)	[ 6.4100 - 14.1525)	[ 2.6925 - 11.0000)	[0.3500 - 0.7300)
[4.9975 - 8.1200]	[2.0675 - 3.6600]	[14.1525 - 75.1100]	[11.0000 - 18.2400]	[0.7300 - 6.4100]

##### 4.4.2.1 Análisis de correspondencia de las categorías de la variable oxígeno y los trimestres del año.

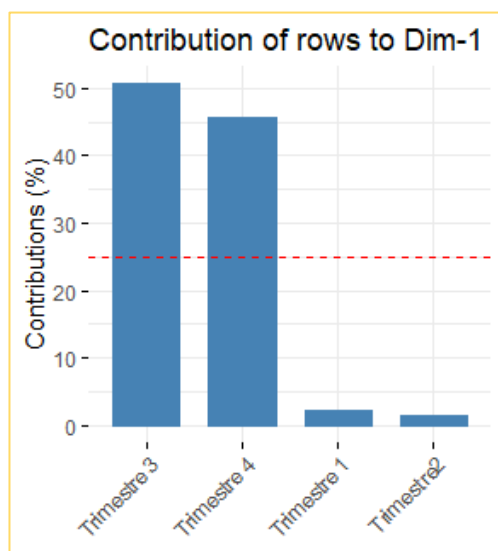


Figura 44. Contribución a la dimensión 1 de los trimestres del año.

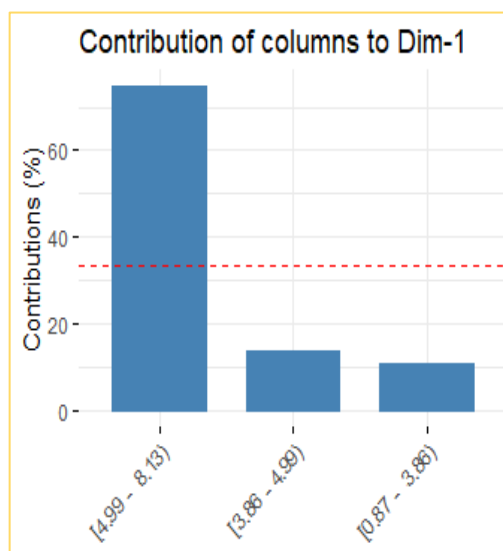


Figura 45. Contribución a la dimensión 1 de las categorías de la variable oxígeno.

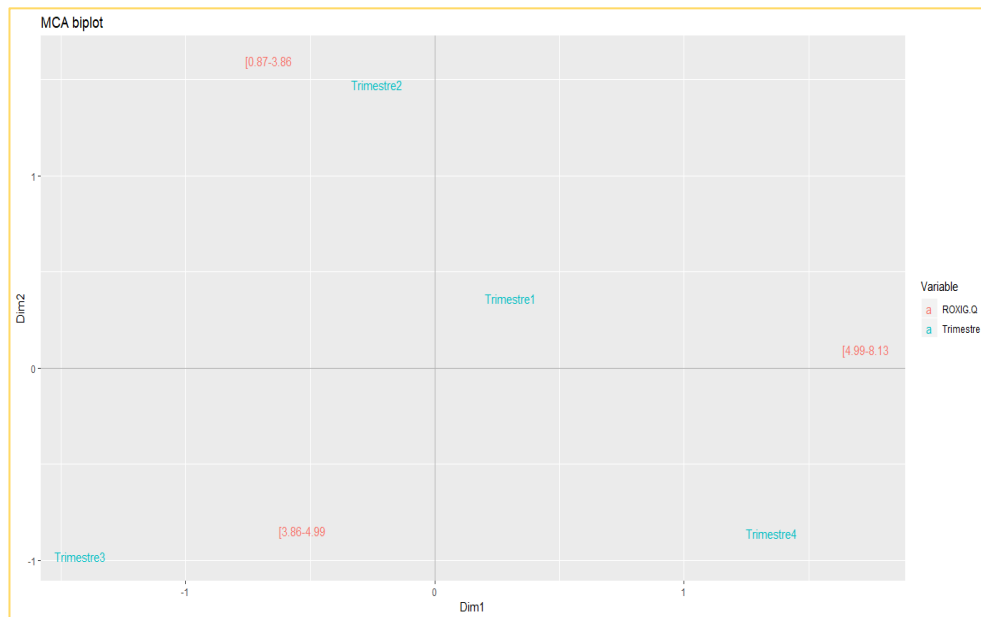


Figura 46. Biplot: Visualización en el mapa de la correspondencia entre los trimestres del año y las categorías de la variable oxígeno.

En la Figura 46, puede observarse una correspondencia entre los valores del oxígeno de [0.87-3.86) y el segundo trimestre del año.

#### 4.4.2.2 Análisis de correspondencia múltiple: Categorías de las variables oxígeno, fosfatos, silicatos, nitratos, nitritos y los trimestres del año.

Una representación gráfica de datos multivariantes mediante un biplot es equivalente a un diagrama de dispersión que muestra la distribución conjunta de dos variables.

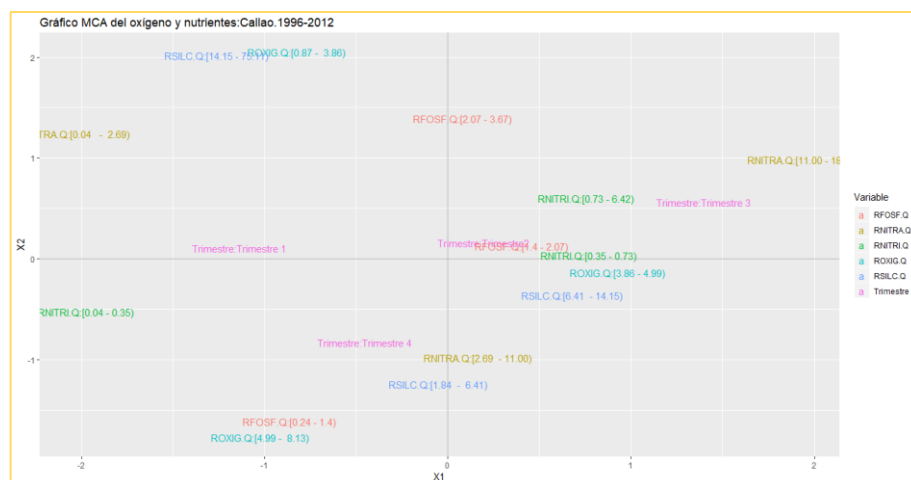


Figura 47. Biplot: Visualización de la correspondencia entre las categorías de las variables oxígeno, fosfatos, silicatos, nitratos, nitritos y los trimestres del año.

Puede observarse que el segundo trimestre del año se corresponde con valores de fosfatos que varían entre 1.4 a 2.07, con valores de nitritos entre 0.35 a 0.73, con valores de oxígeno entre 3.86 a 4.99 y con valores de silicatos que varía entre 6.41 a 14.15. Asimismo, en el trimestre 4 existe una correspondencia entre los valores de nitrato que varía entre 2.69 a 11 y con valores de silicato que se encuentra en el rango de 1.84 a 6.41.

#### **4.5 Análisis estadístico de la temperatura y salinidad: BAP CARRASCO-Marina de Guerra del Perú.**

Los datos analizados corresponden a las mediciones de la temperatura y salinidad durante el 15 de setiembre de **2011 al 15 de octubre de 2011**, en las líneas de monitoreo de San Juan, Callao, Punta Falsa, Paita Chimbote y Chicama. En total la base de datos la constituyen 29107 registros del BAP Carrasco-Marina de Guerra del Perú.



*Figura 48* B.A.P. Carrasco-Marina de Guerra del Perú.

Debido a que la temperatura y la salinidad son variables con propiedades “conservativas” están consideradas entre las características más importantes del agua de mar. A continuación, se presenta el análisis estadístico exploratorio y confirmatorio con el objetivo de conocer la distribución de estas variables tanto en superficie como en profundidad en las líneas de monitoreo de San Juan, Callao, Punta Falsa, Paita, Chimbote y Chicama (Marina de Guerra del Perú).



Tabla 26

*Distribución de los registros de los datos en las líneas de monitoreo BAP Carrasco.*

Línea	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Callao	5032	17.29
Chicama	3665	12.59
Chimbote	3430	11.78
P. Falsa	5858	20.13
Paíta	5617	19.30
San Juan	5505	18.91
<b>Total</b>	<b>29107</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.1 Distribución de la temperatura y salinidad en las distintas líneas de monitoreo, distintas profundidades y distancias. (Marina de Guerra del Perú).

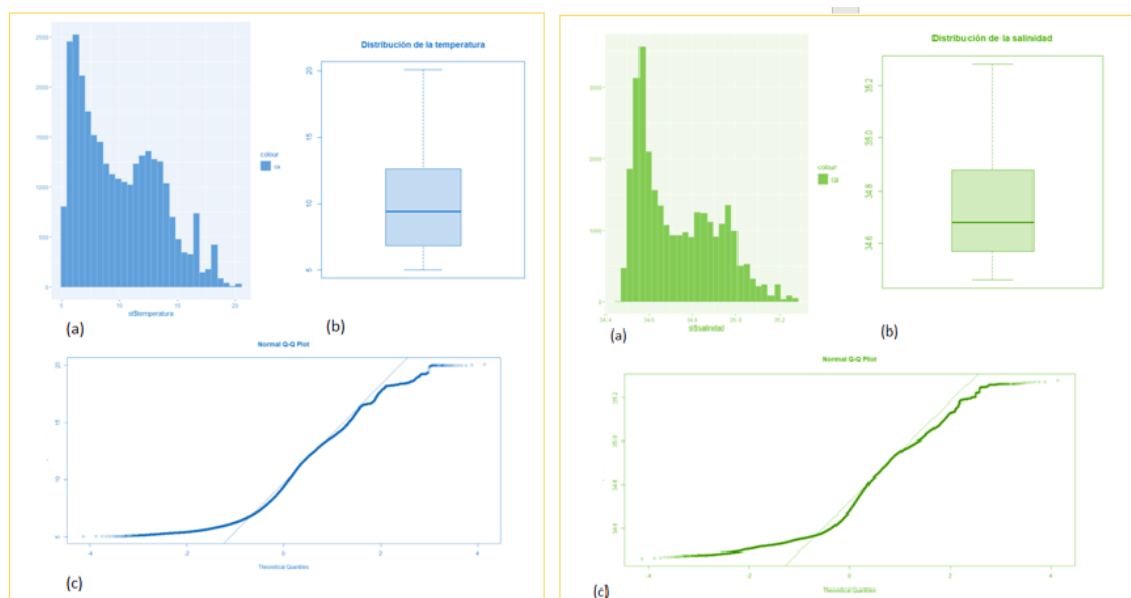


Figura 49. (a) Histograma de la temperatura. (b) Boxplot de la temperatura. (c) Q-Q plot de la temperatura.

Figura 50. (a) Histograma de la salinidad. (b) Boxplot de la salinidad. (c) Q-Q plot de la salinidad.

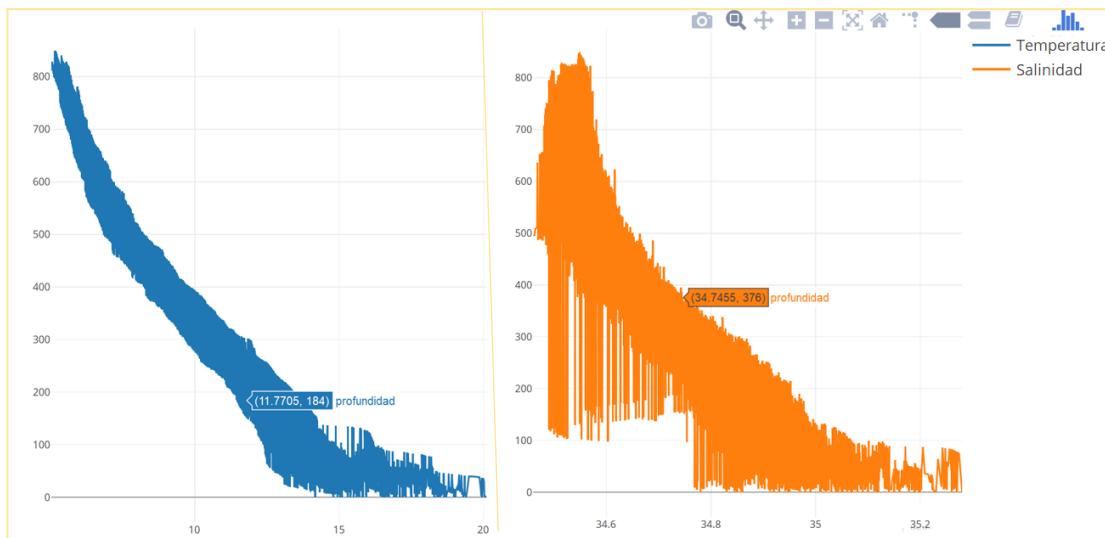


Figura 51. Distribución de la temperatura versus la profundidad del mar.

Figura 52. Distribución de la salinidad versus la profundidad del mar.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/TemSaliProf31Dic2018.html>

**Tabla 27**

*Medidas descriptivas de la temperatura y salinidad.*

Variable	Count	Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	Skewness
Salinidad	29107	34.731	0.184	0.53	34.46	34.566	34.68	34.878	35.28	0.61
Temperatura	29107	9.9913	3.4728	34.76	5.0277	6.8501	9.4098	12.6399	20.1	0.52

Fuente: Elaboración propia

La distribución de la temperatura y salinidad son asimétricas, los datos de la salinidad tienen un comportamiento homogéneo, mientras que los datos de la temperatura tienen una gran dispersión.

Se presentan en la siguiente tabla las medidas descriptivas por línea de monitoreo.

**Tabla 28.**

*Medidas descriptivas de la temperatura y salinidad por la línea de monitoreo.*

Variable	línea	Total Count	Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	Skewness
salinidad	Callao	5032	34.711	0.175	0.50	34.507	34.546	34.673	34.834	35.200	0.75
	Chicama	3665	34.787	0.196	0.56	34.518	34.582	34.797	34.947	35.280	0.25
	Chimbote	3430	34.764	0.199	0.57	34.508	34.574	34.736	34.920	35.274	0.63
	P.Falsa	5858	34.746	0.185	0.53	34.520	34.574	34.681	34.923	35.230	0.55
	Paíta	5617	34.746	0.172	0.49	34.541	34.589	34.684	34.920	35.200	0.52
	SAN JUAN	5505	34.660	0.158	0.46	34.460	34.519	34.615	34.783	35.122	0.78
temperatura	Callao	5032	9.6343	3.2348	33.58	5.0539	6.7191	9.2489	12.0255	16.9300	0.47
	Chicama	3665	10.799	3.600	33.33	5.028	7.321	11.032	13.394	18.500	0.24
	Chimbote	3430	10.374	3.536	34.08	5.341	7.132	10.143	13.053	18.400	0.43
	P.Falsa	5858	10.027	3.622	36.12	5.146	6.745	9.258	13.062	20.100	0.52
	Paíta	5617	10.049	3.528	35.10	5.377	7.000	9.101	13.128	19.400	0.60
	SAN JUAN	5505	9.4452	3.1934	33.81	5.0567	6.6035	8.7933	11.8427	16.7000	0.63

Elaboración propia de la investigación.

La salinidad mínima en el periodo en estudio corresponde a San Juan y la salinidad máxima a Chimbote. El comportamiento de la salinidad en todas las líneas de monitoreo son asimétricas positivas. Observándose la mayor asimetría en San Juan. Asimismo, para la temperatura se observa que el valor mínimo se presenta en Chicama y la máxima en Punta Falsa. La distribución de la temperatura es asimétrica en todas las líneas de monitoreo y la que presenta mayor asimetría es San Juan.

La siguiente figura presenta la función de densidad empírica y diagrama de cajas de la temperatura en las líneas de monitoreo en estudio durante el 12 de setiembre a 17 de setiembre de 2011.

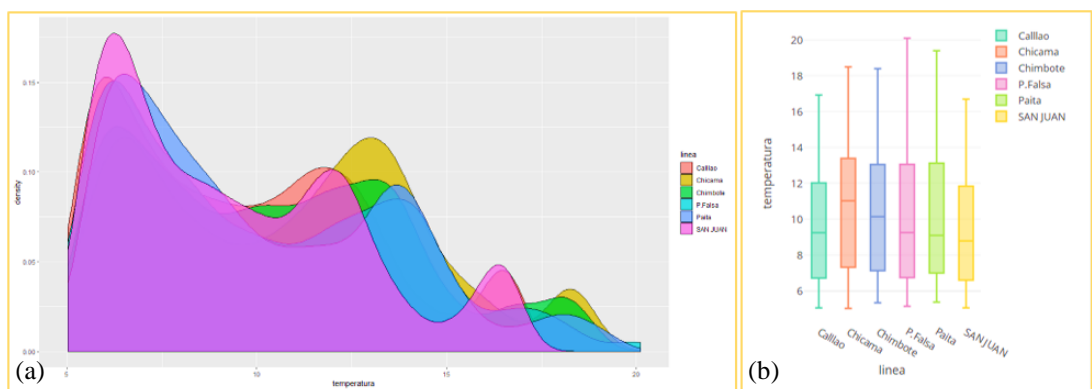


Figura 53. (a) Función de densidad empírica de la temperatura en las líneas de monitoreo en estudio. (b) Boxplot de la temperatura en las líneas de monitoreo en estudio.

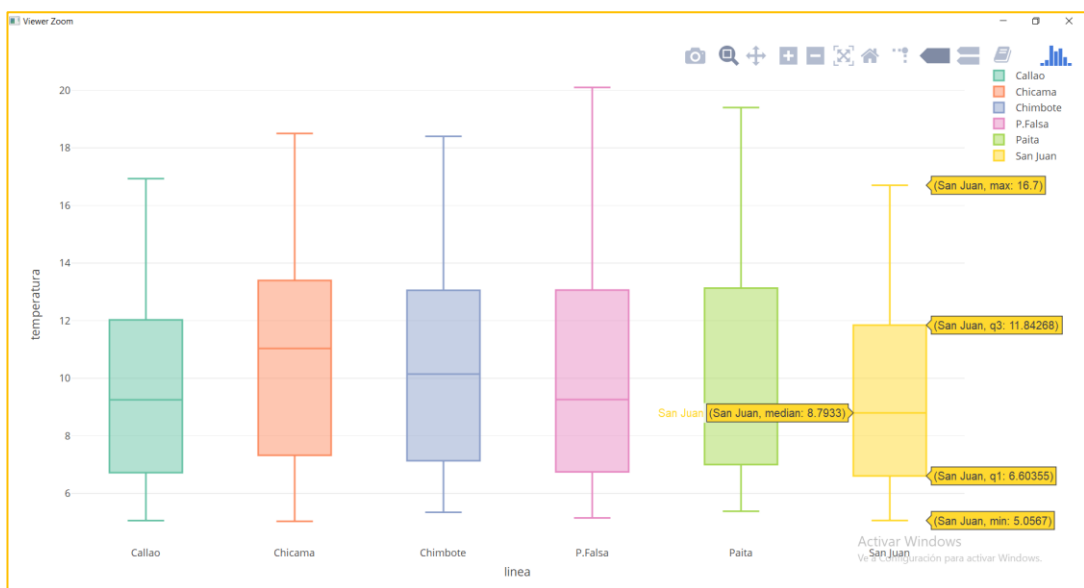


Figura 54. Boxplot de la temperatura en las líneas de monitoreo: Callao, Chicama, Chimbote, P. Falsa, Paíta y San Juan.

La Figura 84 (a), muestra la función de densidad empírica de la temperatura en las líneas de monitoreo en estudio y en todos los casos se observa distribuciones asimétricas y multimodales. La Figura 84 (b) permite confirmar la asimetría de la temperatura en las líneas de monitoreo correspondientes al Callao, Chicama, Chicbote, Punta Falsa, Paita y San Juan respectivamente. En la Figura 85, se muestra el boxplot de la temperatura en las líneas de monitoreo en el cual no se evidencia observaciones discordantes.

Distribución de la temperatura versus la latitud y longitud.

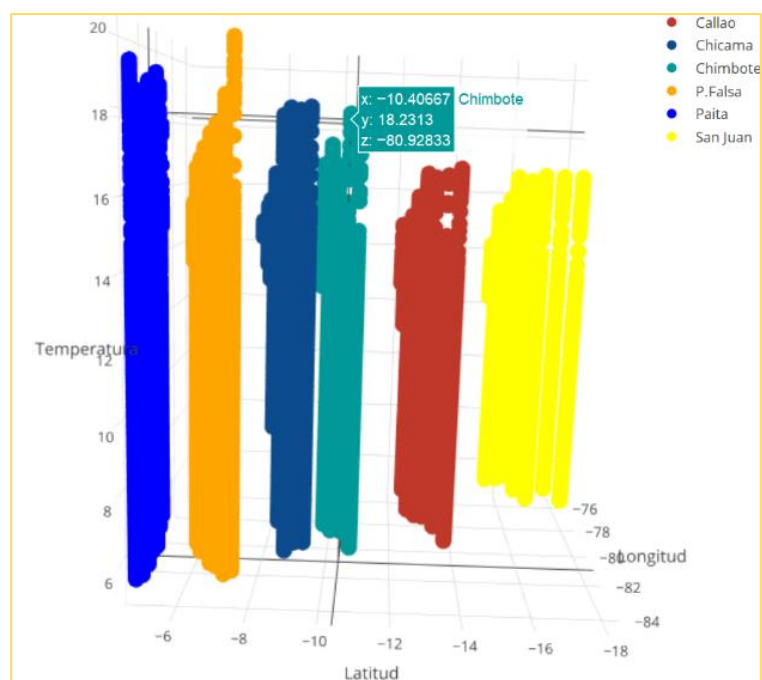


Figura 55. Distribución de la temperatura de acuerdo con la longitud y latitud según las líneas de monitoreo: Callao, Chicama, Chicbote, P. Falsa, Paita y San Juan.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/TEMPERATURALATLONG.html>

La temperatura de la superficie del agua de mar varía fundamentalmente con la latitud. En general, cuanto mayor es la latitud, mayor es la sensación de frío. Es decir, en las latitudes altas hace menos calor que en las latitudes medias y bajas.

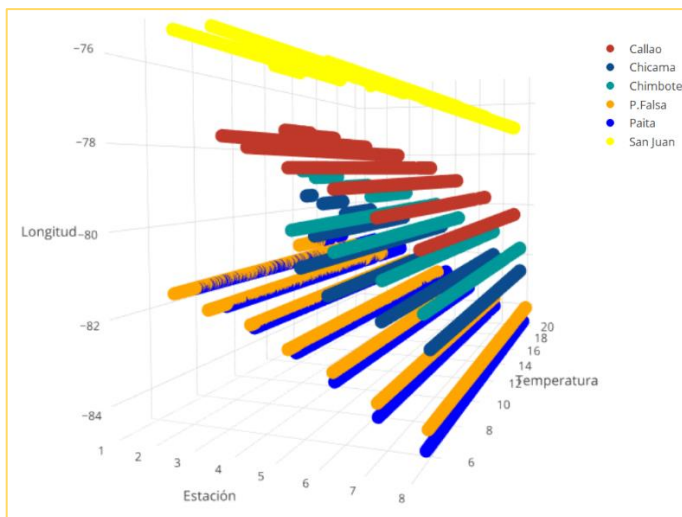


Figura 56. Distribución de la temperatura de acuerdo con la longitud y la estación según las líneas de monitoreo: Callao, Chicama, Chimbote, P. Falsa, Paita y San Juan.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/TEMPERATURAESTLONG.html>

La Figura 57, presenta la función de densidad empírica y diagrama de cajas de la salinidad en las líneas de monitoreo en estudio durante el 12 de setiembre a 17 de setiembre de 2011.

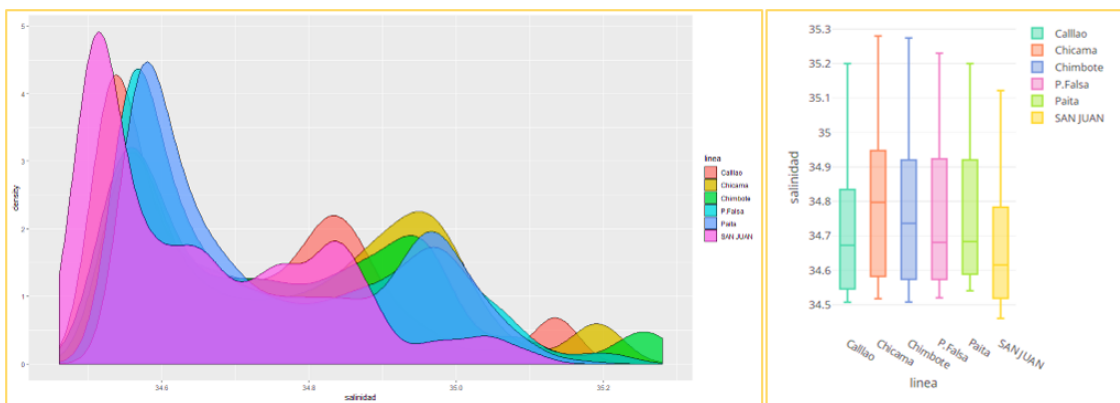


Figura 57. (a) Función de densidad empírica de la salinidad en las líneas de monitoreo en estudio. (b) Boxplot de la salinidad en las líneas de monitoreo en estudio. Las líneas de monitoreo corresponden al Callao, Chicama, Chimbote, P.Falsa, Paita y San Juan respectivamente.

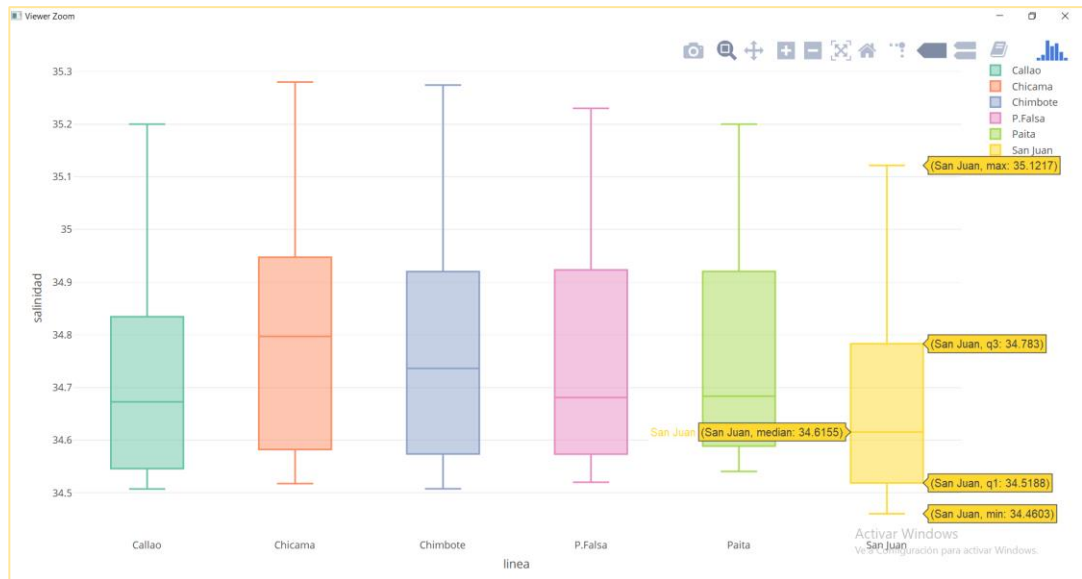


Figura 58. Diagrama de cajas de la salinidad en el Callao, Chicama, Chimbote, P. Falsa, Paíta y San Juan respectivamente.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/TemLinea31Dic2018.html>

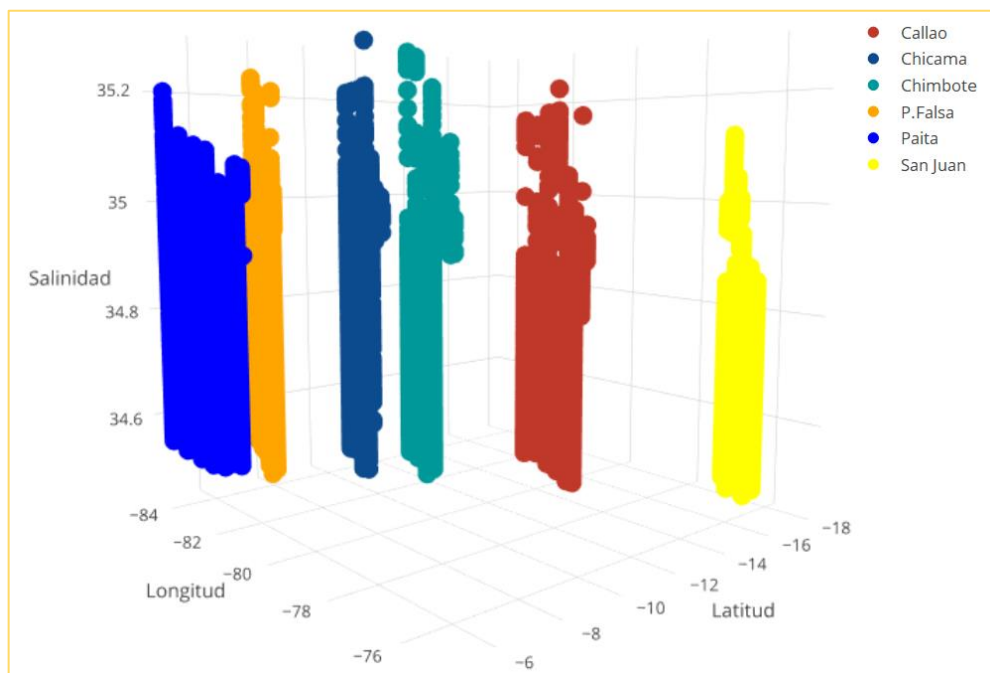
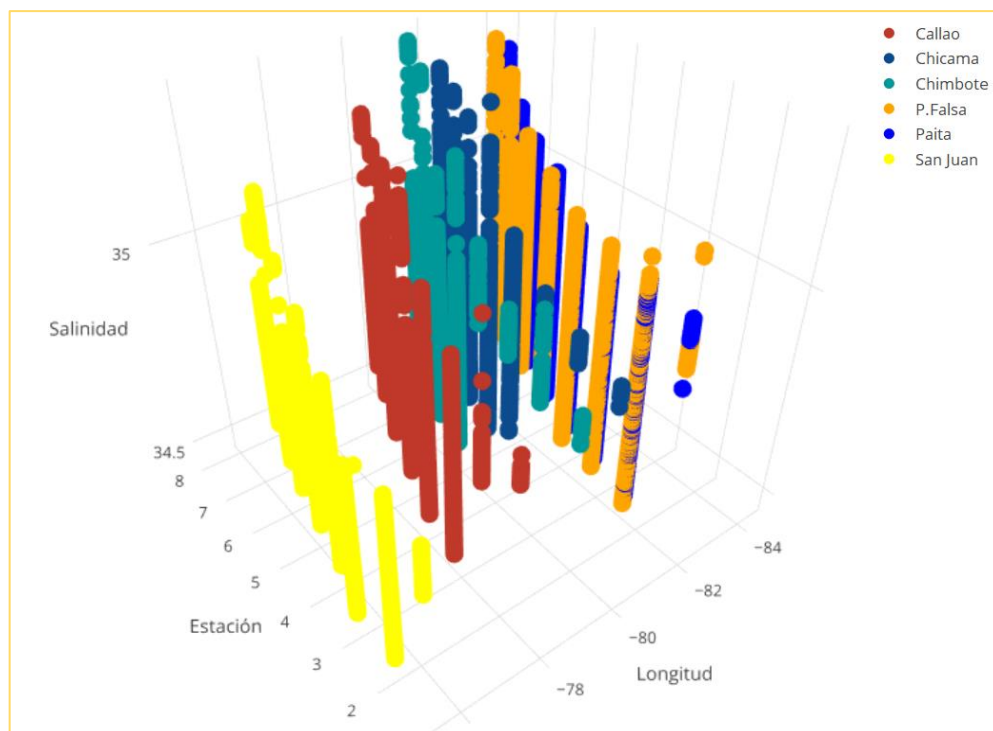


Figura 59. Distribución de la salinidad de acuerdo con la longitud y latitud según las líneas de monitoreo: Callao, Chicama, Chimbote, P. Falsa, Paíta y San Juan.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/SALINIDADLATLONG.html>



*Figura 60.* Distribución de la salinidad de acuerdo con la longitud y la estación según las líneas de monitoreo: Callao, Chicama, Chimbote, P. Falsa, Paíta y San Juan.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%201%20NOV2018/SALINIDADESTLONG.html>

#### **4.6 Análisis estadístico: Datos oceanográficos del Crucero Oceanográfico Binacional-BAP CARRILLO-Marina de Guerra del Perú.**

Esta sección tiene como objetivo presentar un análisis estadístico de las características físicas y químicas de las aguas, mediciones realizadas durante el Segundo Crucero Oceanográfico en el sur del litoral peruano, a bordo del BAP CARRILLO realizados entre el 26 de julio y 11 de agosto de 2014. Los datos se encuentran estructurados en la base de datos: CRUCEROCARRILLO.xlsx.



*Figura 61.* BAP CARRILLO Marina de Guerra del Perú. tiene como misión efectuar los trabajos de Investigación Científica relacionados con la Hidrografía, Oceanografía, Meteorología Marítima, Señalización Náutica y Prospección Magnética en el ámbito del litoral, en coordinación con los órganos de línea de la Dirección de Hidrografía y Navegación.

Los trabajos a bordo del BAP CARRILLO, consistieron en recopilar información en las secciones oceanográficas frente a: Pisco, San Juan, Ático e Ilo. En cada sección se ejecutaron entre 4 a 6 estaciones oceanográficas alcanzando un total de 21 estaciones.

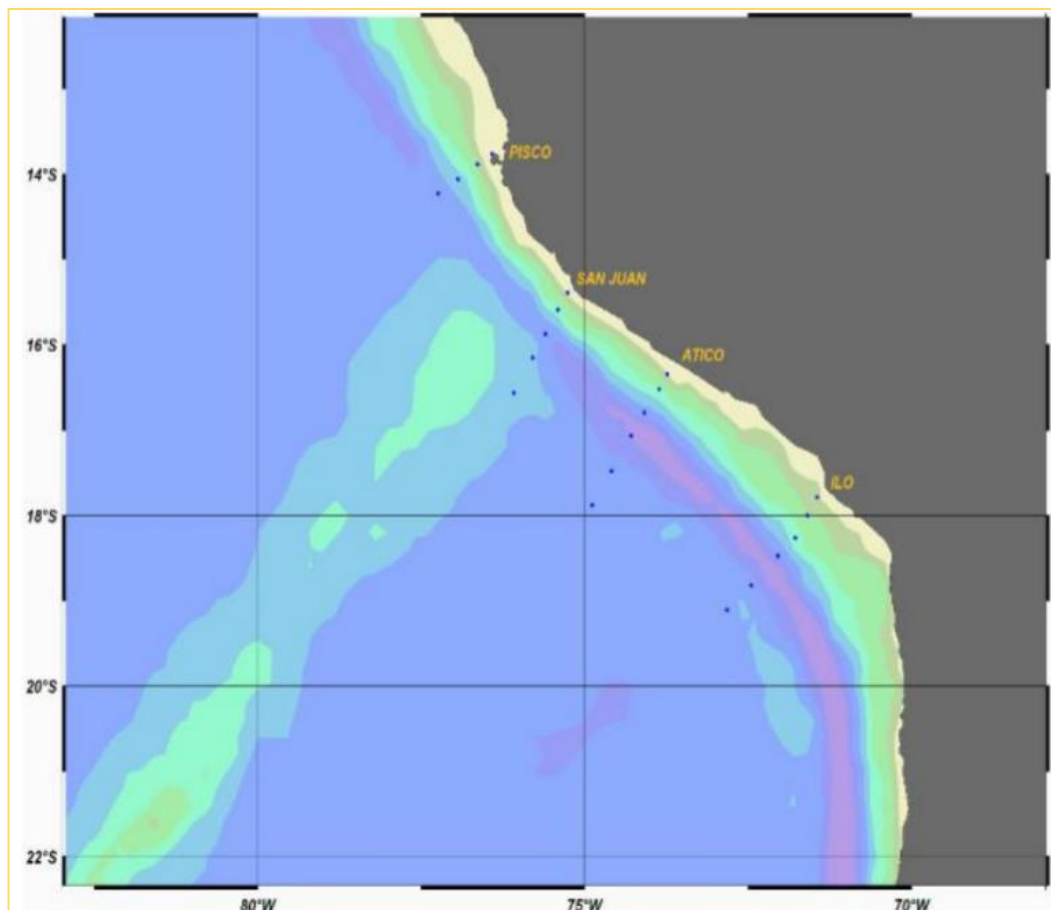


Figura 62. Veintiún estaciones oceanográficas de las secciones de Pisco, San Juan, Ático e Ilo.

Información obtenida de la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú.

#### 4.6.1 Generalidades de las líneas de muestreo

La bahía de Pisco, está localizada entre los paralelos  $13^{\circ}27'14''$  y  $13^{\circ}51'58''$  de latitud sur, tiene una extensión aproximadamente de 45 km de longitud y más de 20 km de ancho. Presenta un franja costera de playas bajas de arena, con fondos de regular profundidad y tierras interiores sin cerros ni colinas.

La bahía de San Juan, está localizada entre los paralelos  $15^{\circ}17'24''$  y  $15^{\circ}21'36''$  de latitud sur, tiene una extensión de 9.3 km en dirección noroeste y sureste, y aproximadamente 5.5 km de ancho en sentido este a oeste, con una franja costera de



aproximadamente 19.5 km. Esta bahía se encuentra en un área geográfica con una fuerte influencia de la corriente de Humboldt, en las que las temperaturas superficiales del mar varían entre 13.9 °C y 18.4 °C.

De acuerdo con el Expediente Técnico: Establecimiento de la Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras, la Punta Ático se localiza entre los paralelos 16° 14' de latitud S y los 73° 41' de longitud O y se caracteriza por tener un inicio angosto y luego ancho, en forma perpendicular a la costa.

Los datos se obtuvieron desde las cinco millas de costa hasta las 60, 90 y 120 millas frente a Pisco, San Juan, Ático e Ilo respectivamente. En cada una de las secciones se consideraron entre cuatro y seis estaciones oceanográficas haciendo un total de 21 estaciones oceanográficas.

**Tabla 29**

*Medidas estadísticas del oxígeno, temperatura, salinidad y pH, de las 21 líneas oceanográficas frente a Pisco, San Juan, Ático e Ilo respectivamente.*

OXIGENO	TEMPERATURA	SALINIDAD	pH
Min. :3.250	Min. :13.90	Min. :34.90	Min. :5.42
1st Qu.:5.300	1st Qu.:16.00	1st Qu.:35.01	1st Qu.:5.65
Median :6.000	Median :16.50	Median :35.12	Median :5.75
Mean :5.707	Mean :16.25	Mean :35.09	Mean :5.70
3rd Qu.:6.400	3rd Qu.:17.00	3rd Qu.:35.18	3rd Qu.:5.81
Max. :7.550	Max. :17.10	Max. :35.24	Max. :5.85

#### **4.6.2 Análisis exploratorio mediante diagrama de cajas en las 21 líneas de monitoreo: Oxígeno, temperatura, salinidad, pH, fosfatos, nitritos y nitratos.**

##### **x. Diagrama de cajas del oxígeno disuelto en las 21 líneas de monitoreo.**

El oxígeno disuelto es el factor que determina los cambios biológicos realizados por organismos aeróbicos y anaerobios, ellos utilizan el oxígeno libre para la oxidación de las materias orgánicas e inorgánicas produciéndose productos finales inocuos.

Las muestras de oxígeno disuelto fueron colectadas mediante botellas de polietileno de 250 ml y analizadas a bordo. El oxígeno disuelto fluctuó en la capa superficial entre 3.25 y 7.55 ml/l.

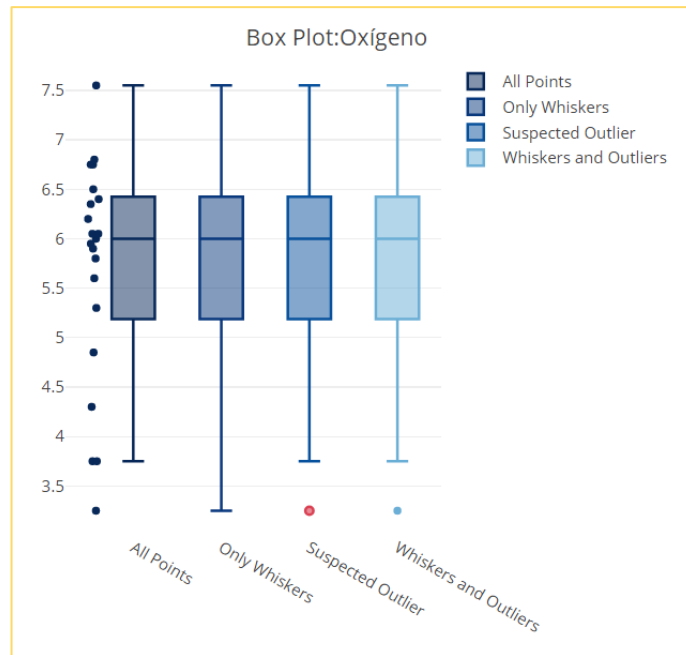


Figura 63. Box plot del oxígeno disuelto en las secciones de Pisco, San Juan, Ático e Ilo.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/OceanoLineaBoxOx.html>

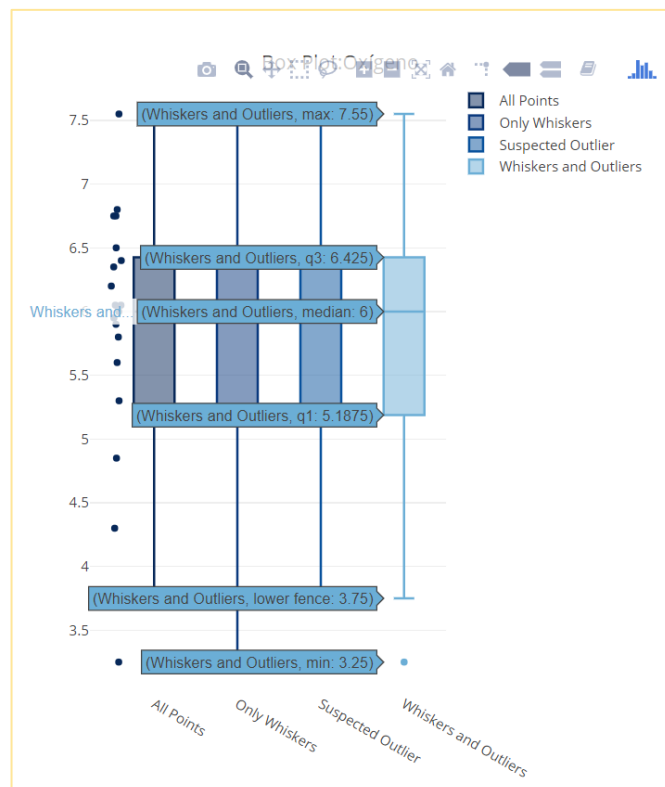


Figura 64. Boxplot del oxígeno disuelto en las secciones de Pisco, San Juan, Ático e Ilo: Especificación de outlier.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/OceanoLineaBoxOx.html>

En la Figura 115, se observa la observación discordante y este valor coincide con el valor mínimo de todos los datos.

#### xi. Diagrama de cajas de la temperatura en las 21 líneas de monitoreo.

De acuerdo a la NASA “la temperatura es una de las medidas físicas de mayor interés en los estudios oceanográficos, este parámetro permite la caracterización de diferentes tipos de agua y está estrechamente relacionada con la salinidad”. De acuerdo con la información de IMARPE, en la costa sur del Perú, mayormente frente a Pisco y San Juan, se presentan las mínimas temperaturas que pueden fluctuar entre 13°C y 17°C que se registran en los meses de agosto y setiembre. Esto se confirma con los datos encontrados en el área de estudio en la que la temperatura osciló entre 13.9°C y 17.1°C, y la temperatura mínima se presentó en la zona costera frente a San Juan. El coeficiente de variación es 5.18% indicando un comportamiento de la temperatura es bastante homogénea.

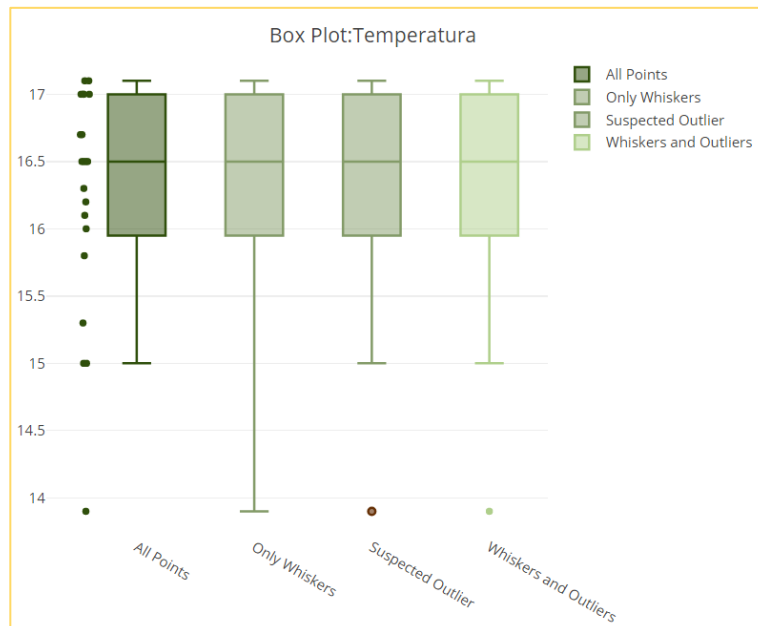


Figura 65. Boxplot de la temperatura en las secciones de Pisco, San Juan, Ático e Ilo.

file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/OceanoLineaBoxT.html

Mediante el boxplot se observa una observación discordante, esta corresponde a la temperatura mínima de San Juan con un valor igual a 13.9.

### xii. Diagrama de cajas de la salinidad en las 21 líneas de monitoreo.

La salinidad es una de las propiedades físicas del océano y su importancia radica en que el contenido de sal modifica algunas propiedades del mar. Junto con la temperatura contribuye a la identificación y caracterización de las diferentes masas de agua. Estas propiedades contribuyen a la determinación de la densidad y explican las variaciones de equilibrio, así como los desplazamientos del agua marina.

En el caso del Perú, la salinidad varía entre 34 ml y 35 ml, lo que significa que en un litro de agua de nuestro mar hay 34 ó 35 gr. de sales minerales. Este porcentaje de salinidad es superior en la zona norte que en la zona sur. En la zona situada entre Piura e Ica la salinidad es de 34.90 ml aproximadamente; frente a Arequipa y Tacna que está en torno a 34.50 ml. Lo que permite concluir que la salinidad disminuye con la altitud.

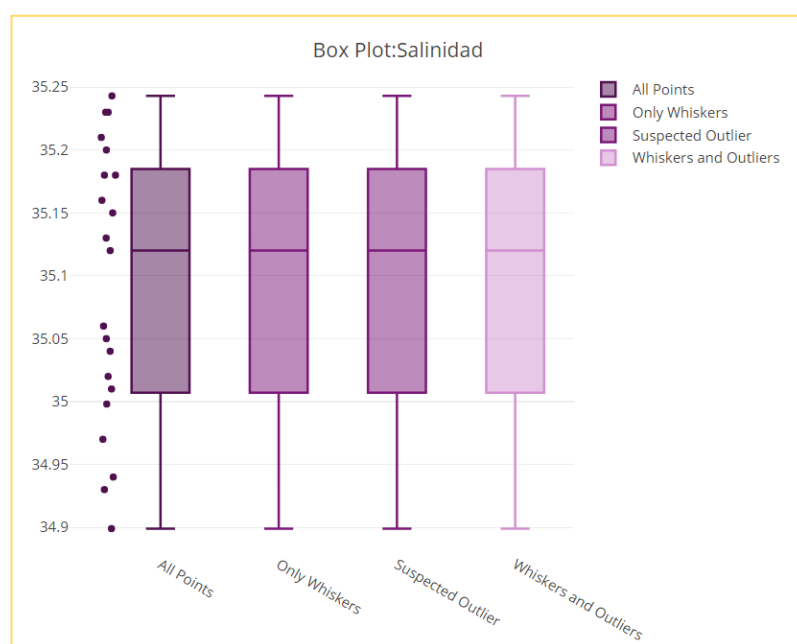


Figura 66. Boxplot de la salinidad en las secciones de Pisco, San Juan, Ático e Ilo.

file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/OceanoLineaBoxSalinidad.html

### xiii. Diagrama de cajas del pH en las 21 líneas de monitoreo.

El pH se considera uno de los factores físico-químicos más importantes en la caracterización de las masas de agua. Respecto al pH, se encontraron valores en el rango de 5.42 a 5.85 observándose una distribución similar al oxígeno. En la zona

costera, el potencial hidronio disminuyó de forma similar a la temperatura y el oxígeno.

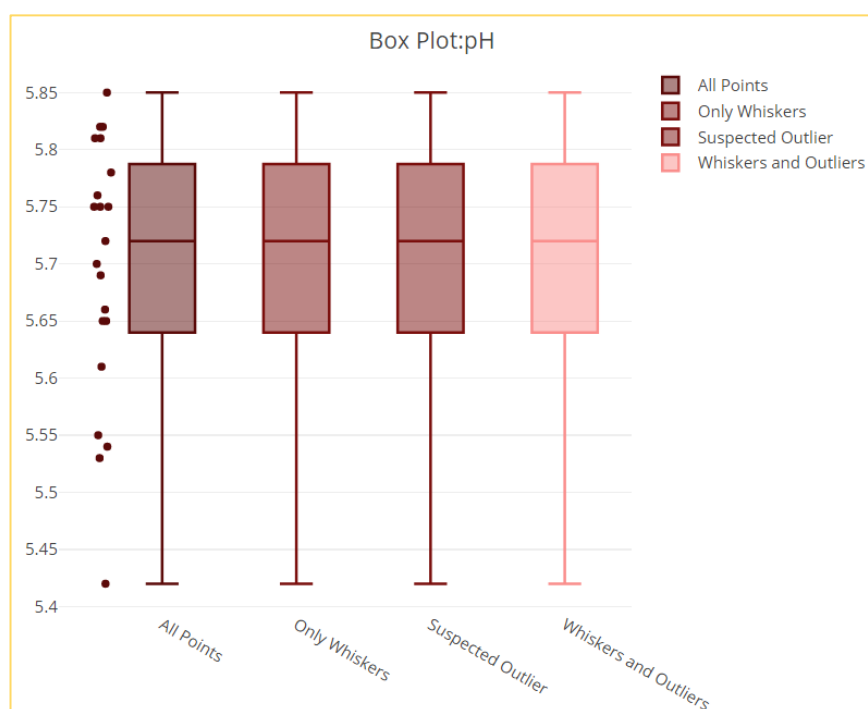


Figura 67. Boxplot del pH en las secciones de Pisco, San Juan, Ático e Ilo.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/OceanoLineaBoxpH.html>

Se observa una distribución asimétrica negativa, sin presencia de outliers y una variabilidad bastante homogénea esto se evidencia mediante el coeficiente de variación del 2.06%.

En la siguiente tabla se presenta las mediadas estadísticas de los parámetros

**Tabla 30**

*Medidas estadísticas de los fosfatos, nitritos y nitratos de las 21 líneas oceanográficas frente a Pisco, San Juan, Ático e Ilo respectivamente.*

PO4	NO2	NO3
Min. :3.519	Min. :2.046	Min. : 4.817
1st Qu.:3.812	1st Qu.:2.176	1st Qu.: 6.096
Median :4.101	Median :2.437	Median : 7.982
Mean :4.168	Mean :2.592	Mean : 8.670
3rd Qu.:4.277	3rd Qu.:2.688	3rd Qu.: 9.243
Max. :5.609	Max. :5.969	Max. :17.107

#### xiv. Diagrama de cajas de los fosfatos en las 21 líneas de monitoreo.

Los fosfatos son de gran importancia para la vida en los océanos dado el papel que el fósforo desempeña como nutriente limitante en la formación de la materia viva. El

contenido de fósforos en los océanos es mínimo en superficie y máximo a los 1000 m de profundidad; a partir de la cual decrece y permanece constante.

Mediante el boxplot se observa una distribución asimétrica positiva de las concentraciones de fosfatos evidenciando la presencia de un outlier con un valor de 5.609 que pertenece a San Juan.

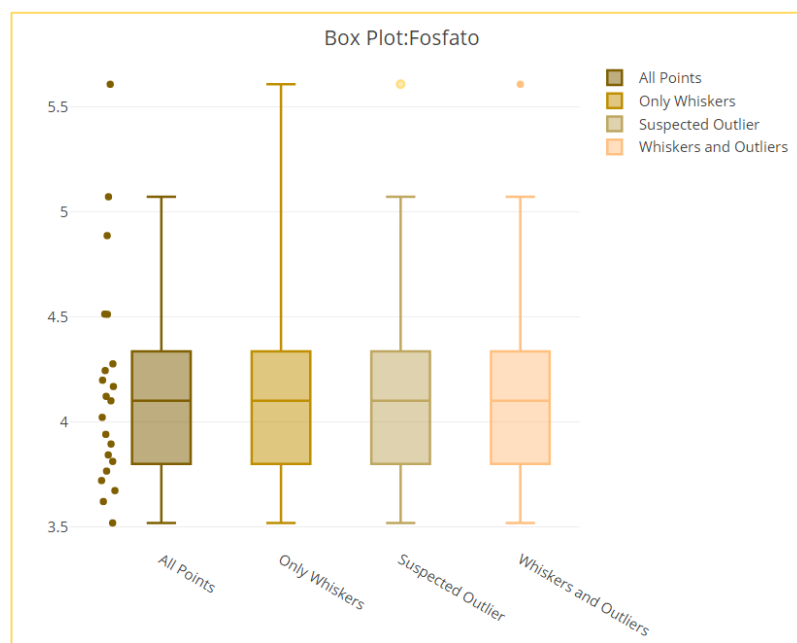


Figura 68. Boxplot del fosfato en las secciones de Pisco, San Juan, Ático e Ilo.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/OceanoLineaBoxFosfato.html>

#### xv. Diagrama de cajas de los nitritos en las 21 líneas de monitoreo.

Los nitratos son sales del ácido nítrico, solubles en agua debido a la polaridad del ion. En los sistemas acuáticos y terrestres, los materiales nitrogenados tienden a transformarse en nitratos. Los nitritos son sales de ácido nitroso y también son solubles en agua. En el mar, estas sales son especialmente escasas porque al ser captadas por los organismos tienden a desaparecer de la columna de agua y a hundirse y acumularse en el fondo.

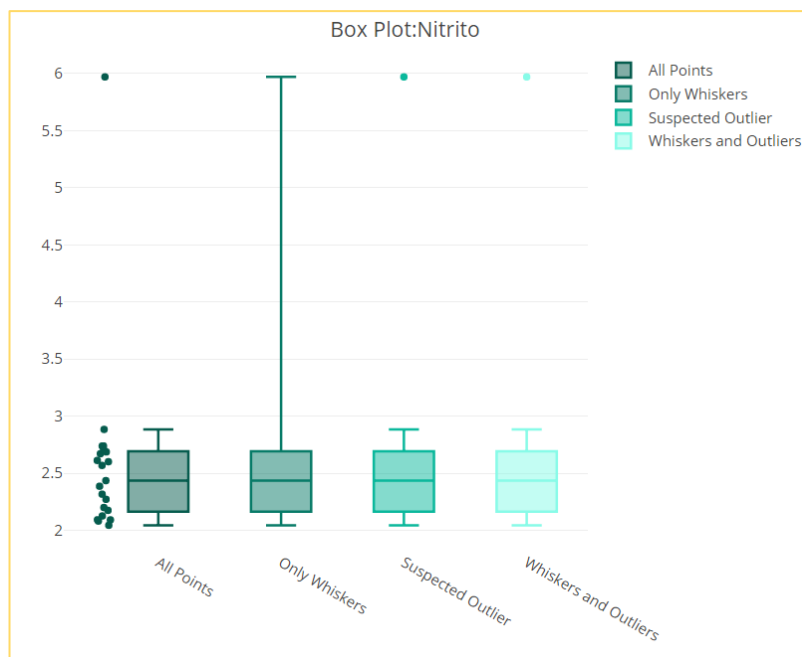


Figura 69. Boxplot del nitrito en las secciones de Pisco, San Juan, Ático e Ilo.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/OceanoLineaBoxNitrito.html>

El boxplot permite observar la presencia de un outliers, con un valor de 5.9692 mg/l.

**xvi. Diagrama de cajas de los nitratos en las 21 líneas de monitoreo.**

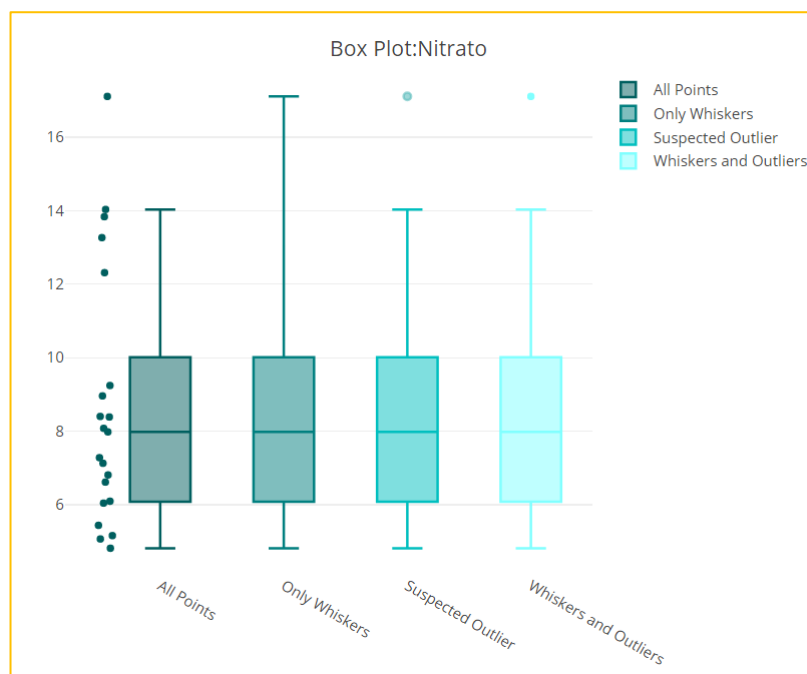


Figura 70. Boxplot del nitrato en las secciones de Pisco, San Juan, Ático e Ilo.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/OceanoLineaBoxNitrato.html>

Con lo que respecta a los nitratos, el boxplot evidencia la presencia de un outlier con un valor de 17.1067 y corresponde a Pisco.

#### 4.6.3 Análisis exploratorio mediante diagramas de cajas por estación oceanográfica: Oxígeno, temperatura, salinidad, pH, fosfatos, nitritos y nitratos.

##### xvii. Análisis exploratorio del oxígeno por estación oceanográfica.

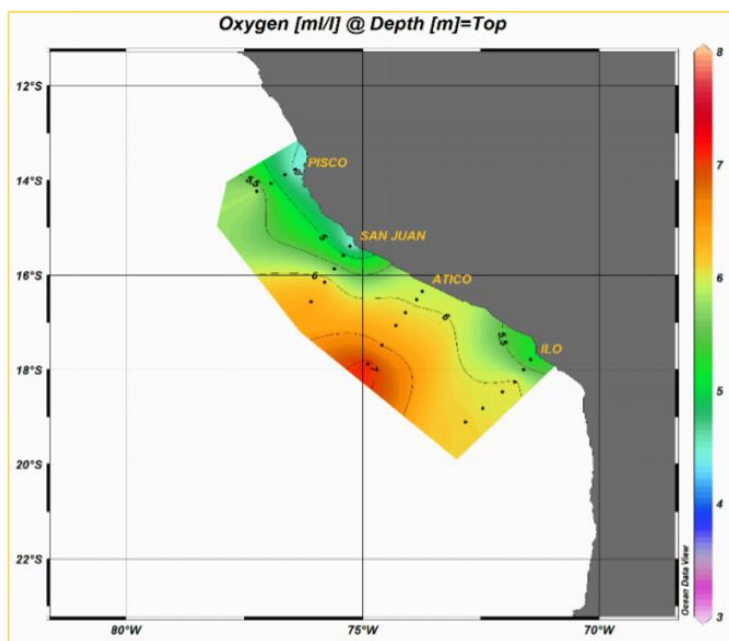


Figura 71. Registro del oxígeno por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.

Información obtenida de IMARPE

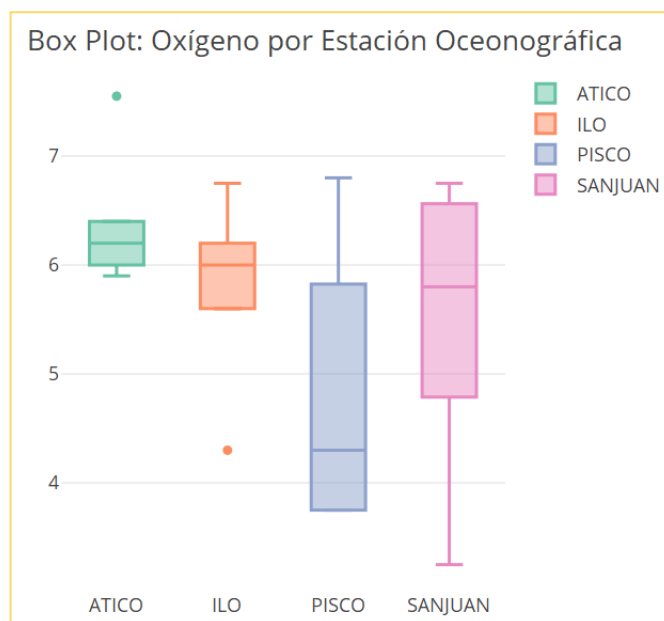
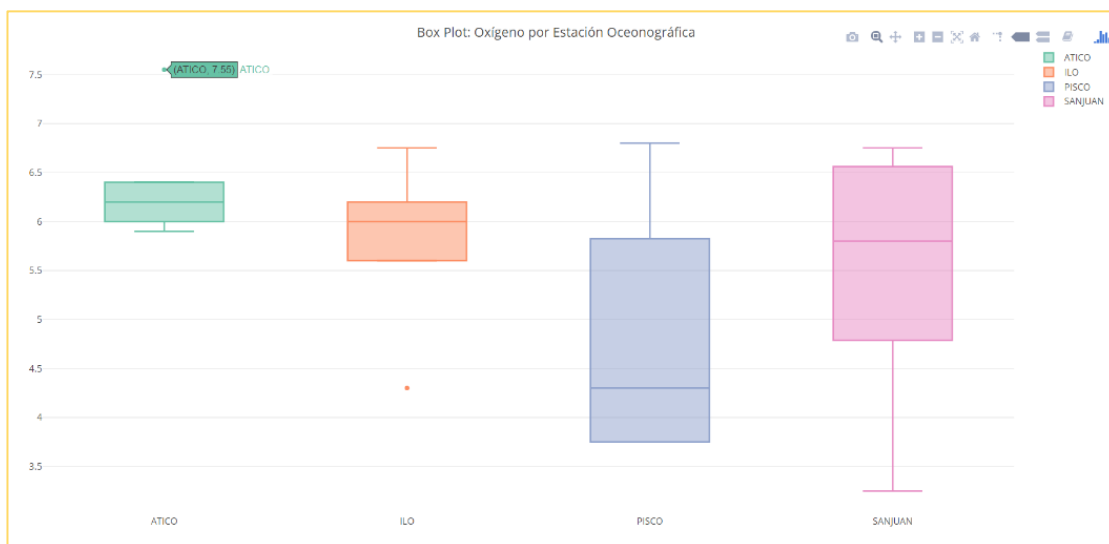


Figura 72. Evolución del oxígeno por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.

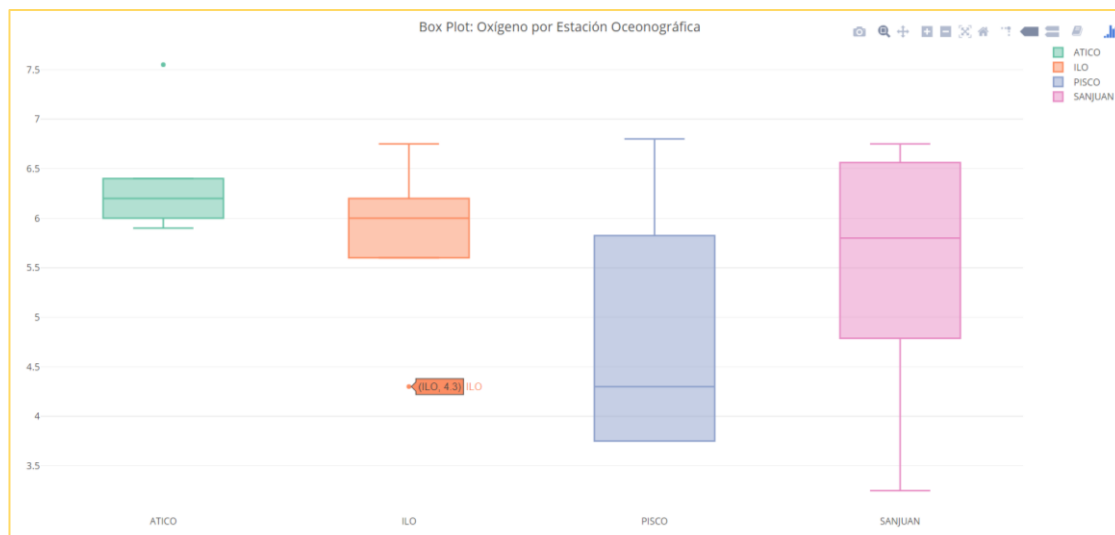
<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/OceanoLineaBoxOxEstacion.html>



El rango de valores del oxígeno en el periodo en estudio fluctuó entre 3.25 a 7.55 y se observa una mayor dispersión del oxígeno en Pisco y San Juan, mientras que en Ático e Ilo existe un outlier con un valor de 7.55 y en Ilo un outlier con un valor de 4.3.



*Figura 73.* Outlier (7.55) en estación oceanográfica de Ático. Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.



*Figura 74.* Outlier (4.3) en estación oceanográfica de Ilo. Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.

xviii. Análisis exploratorio de la temperatura por estación oceanográfica.

La temperatura en el área de estudio varió entre 13.9 y 17.10 °C .

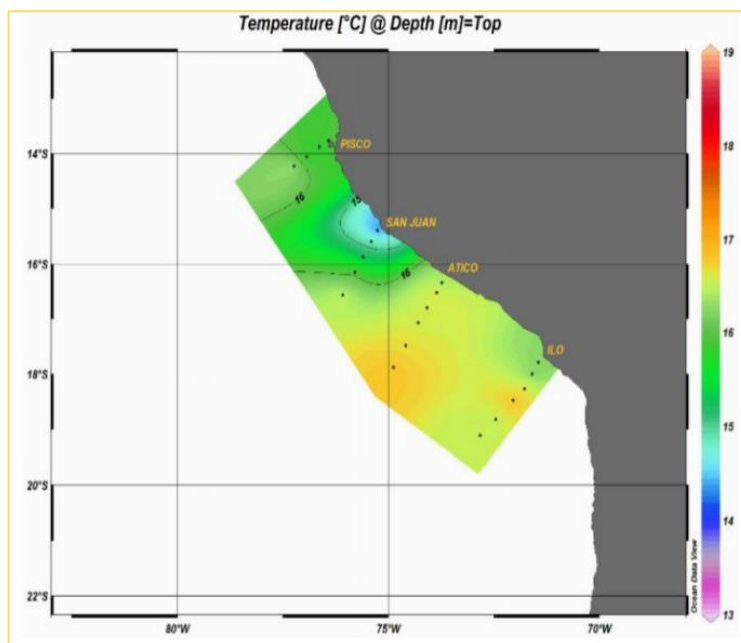


Figura 75. Registro de la temperatura por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.

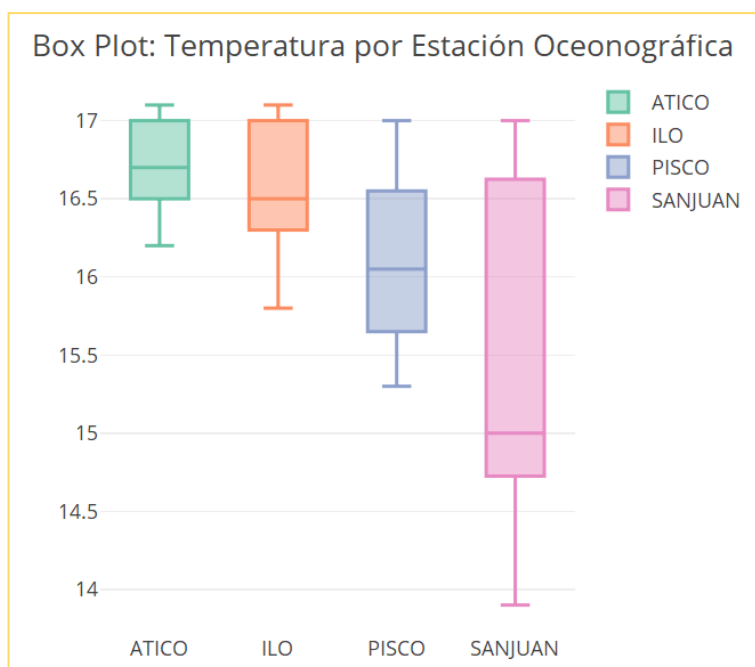


Figura 76. Boxplot 9e la temperatura por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.

Se observa un comportamiento asimétrico a la derecha de la temperatura en la línea de San Juan. Se observa un comportamiento decreciente respecto a la mediana en el siguiente orden: Ático, Ilo, Pisco y San Juan.

### xix. Análisis exploratorio de la salinidad por estación oceanográfica.

La distribución de la salinidad superficial en el área en estudio se caracterizó por presentar valores en el rango de 34.90 a 35.24 UPS.

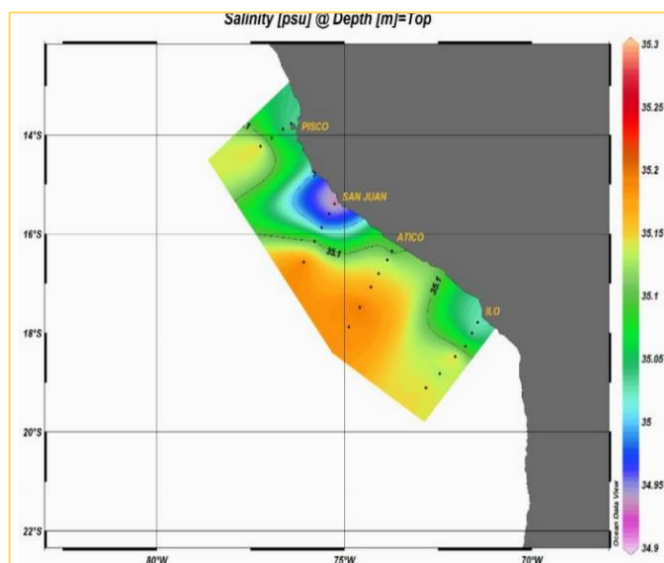


Figura 77. Registro de la salinidad por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.

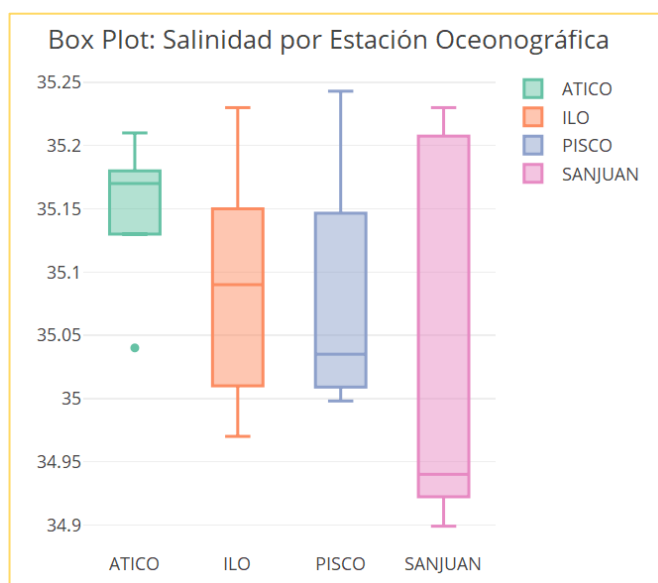


Figura 78. Evolución de la salinidad por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/OceanoLineaBoxSalinidadEstacion.html>

El diagrama de cajas evidencia un outliers en la línea de Ático cuyo valor es 35.04 y una distribución bastante asimétrica en la línea de San Juan.

## xx. Análisis exploratorio del pH por estación oceanográfica.

El océano funciona como un gran regulador de clima del planeta. Consigue absorber el CO<sub>2</sub> manteniendo el pH en equilibrio. El desequilibrio del pH del océano implicaría la desaparición de la gran parte de las especies que dependen de este.

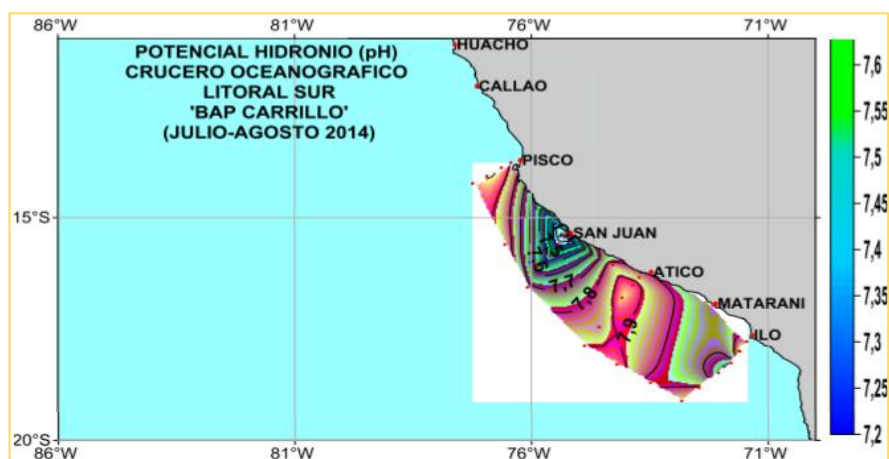


Figura 79. Registro del pH por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.

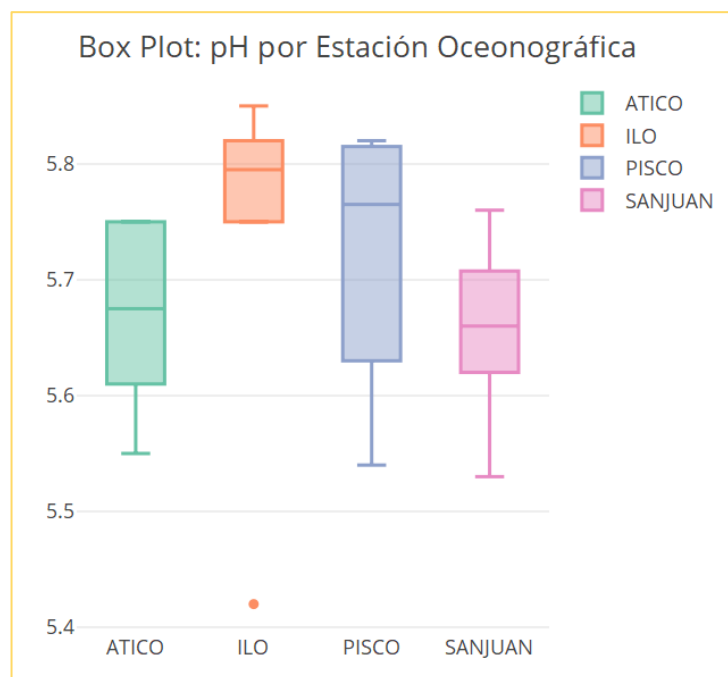


Figura 80. Evolución del pH por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.

El boxplot permite observar una mayor dispersión del pH en Pisco y en todos los casos tienen distribuciones asimétricas, en Ilo existe un outlier con un valor de 5.42.

### xxi. Análisis exploratorio del fosfato por estación oceanográfica.

El fósforo se encuentra en el mar como ion fosfato, su presencia es importante dado que es un elemento básico en la síntesis de materia orgánica en el mar y es utilizado por el fitoplancton. De esta forma, la escasez de fosfatos en zonas de actividad fotosintética limitaría la productividad primaria, sobre todo en el verano, influyendo directamente en toda la vida marina.

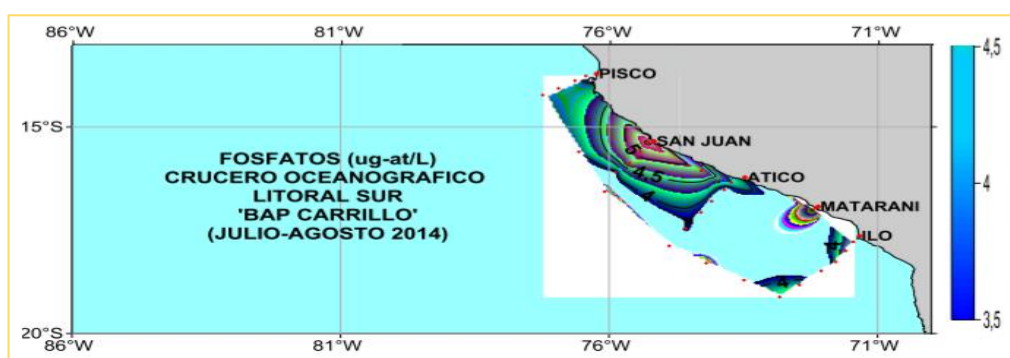


Figura 81. Registro de los fosfatos por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.

Fuente: IMARPE

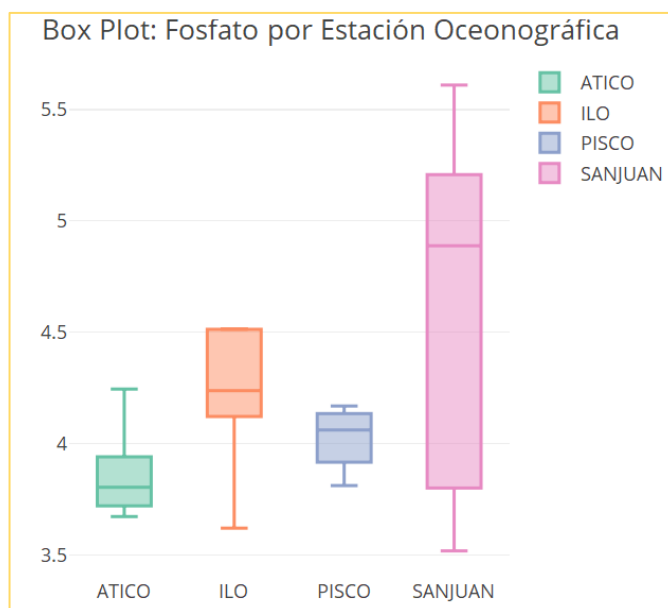


Figura 82. Evolución del fosfato por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/OceanoLineaBoxFosfatoEstacion.html>

El boxplot permite observar que el fosfato tiene un comportamiento asimétrico en todas las líneas de monitoreo y destacar una simetría negativa en San Juan. No hay outliers.

### xxii. Análisis exploratorio del nitrato por estación oceanográfica.

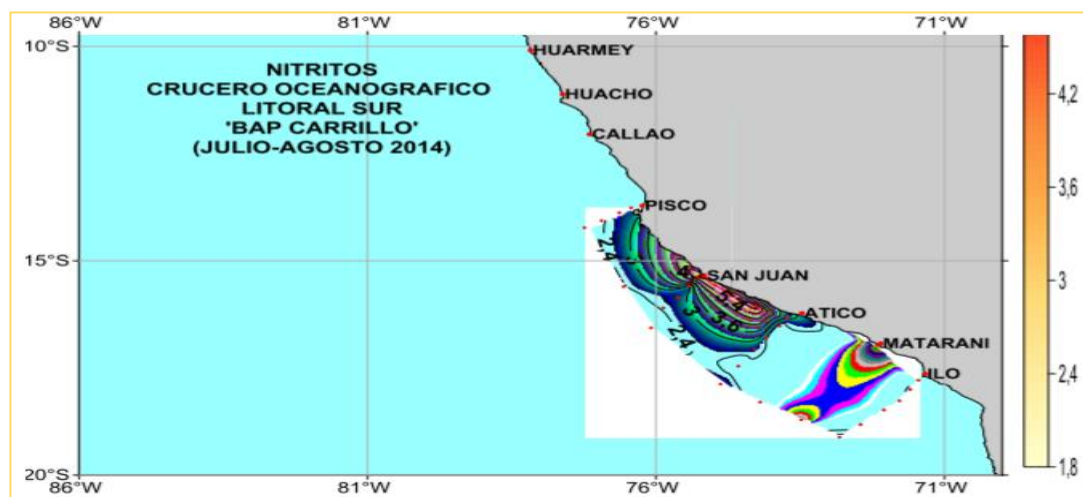


Figura 83. Registro de los nitratos por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.

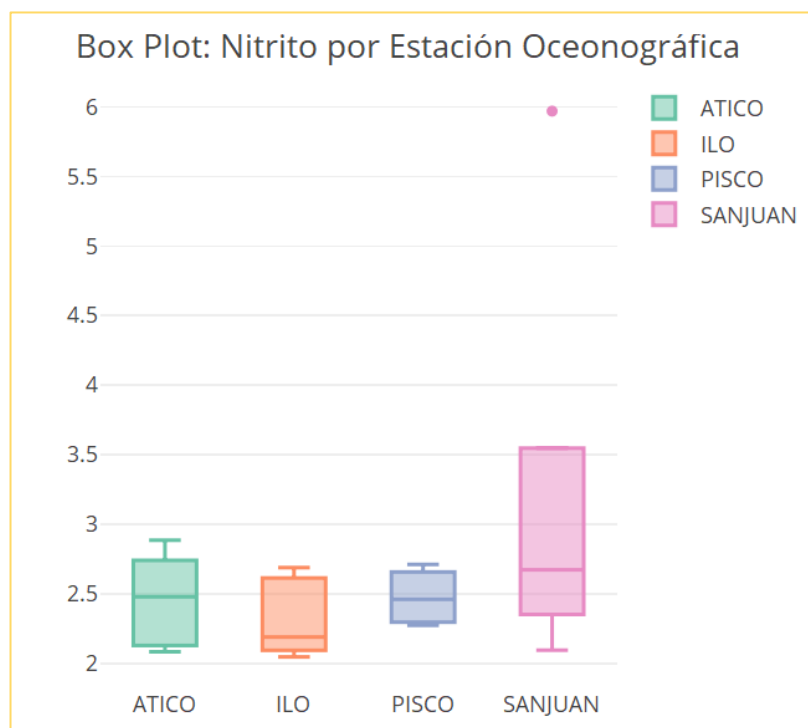


Figura 84. Evolución del nitrato por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/OcenoLineaBoxNitratoEstacion.html>

El boxplot permite observar que el nitrito tiene un comportamiento asimétrico en todas las líneas de monitoreo y destacar una simetría positiva en San Juan con presencia de un outlier.

### xxiii. Análisis exploratorio del nitrato por estación oceanográfica.

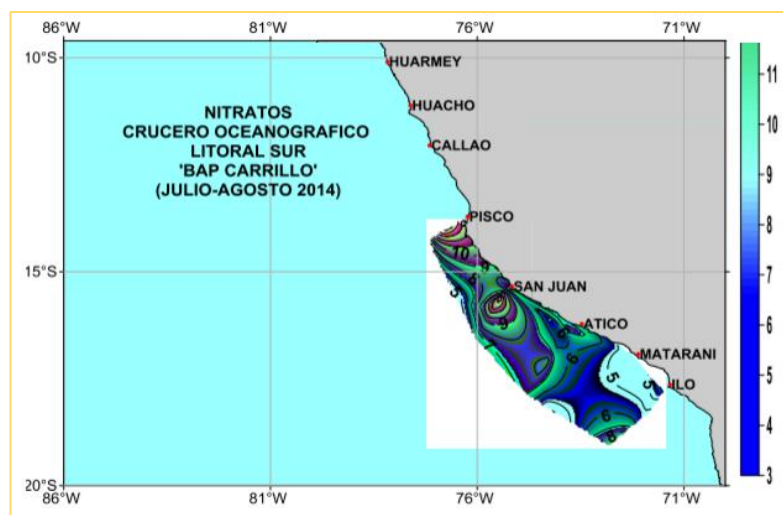


Figura 85 Registro de los nitratos por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.

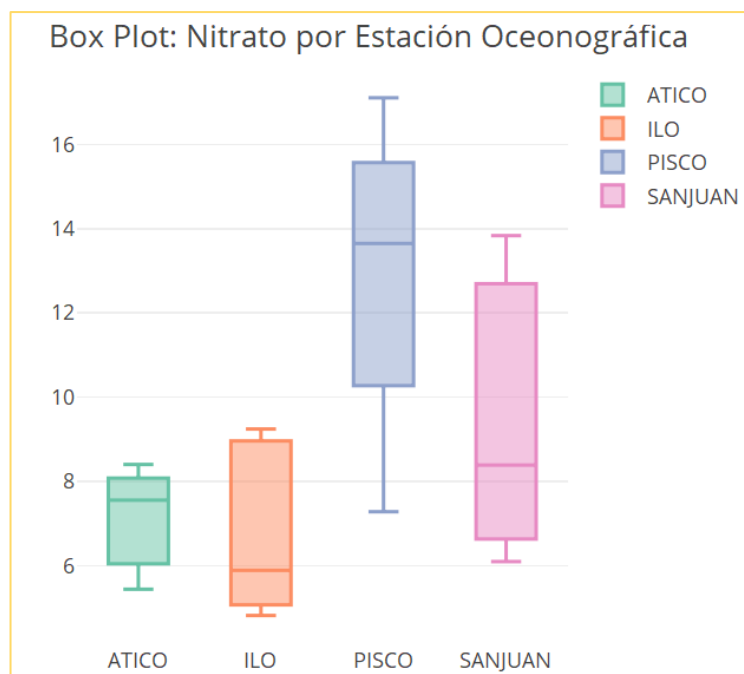


Figura 86. Evolución del nitrato por estación oceanográfica: Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/OceanoLineaBoxNitratoEstacion.html>

El análisis exploratorio ha mostrado el patrón de comportamiento de las variables oxígeno disuelto, temperatura, salinidad, potencial de hidrógeno, fosfatos nitritos y nitratos a nivel superficial del mar. Para confirmar esta diferencia se realizó el análisis de varianza no paramétrico para contrastar la igualdad de las medianas de los valores de la temperatura en las estaciones en estudio.

#### 4.6.4 ANOVA de la variable temperatura en las estaciones de Ático, Ilo, Pisco, San Juan.

**Tabla 31**

*Test de Kruskal-Wallis para contrastar las medianas de la variable temperatura en las estaciones de Ático, Ilo, Pisco, San Juan.*

Hipótesis	Estadístico de Prueba	Criterio de Decisión
$H_0: M_1 = M_2 = M_3 = M_4$	K= 4.9072	Se rechaza la hipótesis nula si el p-valor < 0.05
$H_1$ : Al menos una de las medianas es diferente $\alpha = 0.05$		En este caso el p-valor = 0.1787 > 0.05 Por lo tanto, no se rechaza $H_0$ .

**Conclusión:** El test no es significativo.

El ANOVA de Kruskal-Wallis, permite concluir que no existe diferencia significativa entre las temperaturas medianas en las estaciones de monitoreo de Ático, Ilo, Pisco y San Juan durante el 27 de julio al 10 de agosto de 2014.

```
kruskal-wallis rank sum test
data: t by estacion
kruskal-wallis chi-squared = 4.9072,
df = 3, p-value = 0.1787
```

#### 4.6.5 Análisis de varianza multivariante permutacional: PERMANOVA

PERMANOVA es el acrónimo de "Análisis de varianza multivariante permutacional", es un proceso que puede ser expresado como una partición geométrica de la variación multivariante basado en una medida de disimilitud elegida de acuerdo con un diseño ANOVA específico, tiene la característica que los p-valores se obtienen mediante permutaciones sin considerar una distribución de probabilidad específica. Debido a la flexibilidad del PERMANOVA su procedimiento se basa en una medida de disimilitud como la de Bray-Curtis. PERMANOVA, permite que se analicen más variables de respuesta que unidades de análisis, además de su insensibilidad a la



multicolinealidad de las variables. Esta metodología fue motivada por estudios ecológicos, donde las variables generalmente consisten en conteos de abundancias para un gran número de especies. En esta investigación PERMANOVA permite contrastar la hipótesis que no existe diferencia significativa en las estaciones oceanográficas en estudio respecto a las variables oxígeno, temperatura, salinidad, pH, fosfatos, nitritos, nitratos incluyendo la distancia a la costa, la dirección del viento y la fuerza del viento.

Hipótesis.

$H_0$ : La distribución de las estaciones es la misma en el espacio multivariante.

$H_1$ : La distribución de las estaciones no es la misma en el espacio multivariante

**Tabla 32.**

*PERMANOVA con las variables oxígeno, temperatura, salinidad, pH, fosfatos, silicatos, nitritos y nitratos en las estaciones de Ático, Ilo, Pisco y San Juan.*

FV	gl	SS	R <sup>2</sup>	F	p-valor
Estación	3	0.0043983	0.3287	2.7746	0.02
Residual	17	0.0089828	0.6713		
Total	20	0.0133812	1.0000		

Hipótesis.

$H_0$ : La dispersión multivariante es homogénea en las estaciones de Ático, Ilo, Pisco, San Juan.

$H_1$ : La dispersión multivariante no es homogénea en las estaciones de Ático, Ilo, Pisco, San Juan.

**Tabla 33**

*Test para contrastar la homogeneidad de la dispersión multivariante con las variables oxígeno, temperatura, salinidad, pH, fosfatos, silicatos, nitritos y nitratos en las estaciones de Ático, Ilo, Pisco y San Juan.*

FV	gl	SS	CM	F	N°Permut	p-valor
Estación	3	0.0010694	0.00035646	3.0513	999	0.057
Residual	17	0.0019859	0.00011682			
Total	20	0.0133812	1.0000			

De la Tabla 48, se puede concluir que la hipótesis nula es rechazada, es decir en forma conjunta existe diferencia significativa en la distribución de las variables en estudio respecto a las estaciones Ático, Ilo, Pisco, San Juan. De la Tabla 49, se puede concluir que existe homogeneidad en la dispersión multivariante. De ambos resultados se puede concluir que la diferencia existente se debe solo a la posición.

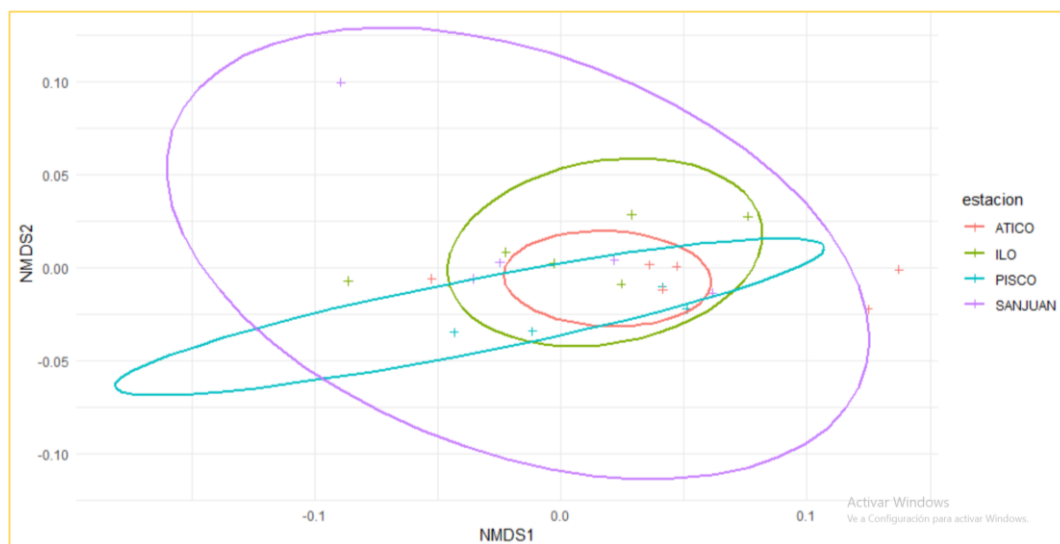


Figura 87. Marco de datos con coordenadas NMDS (escalamiento multidimensional no métrico): Crucero Oceanográfico Sur - del 27 julio al 10 agosto 2014.

En la Figura 137, puede observarse que las elipses obtenidas y que representan un intervalo de confianza del 95% alrededor del centroide. La elipse que corresponde a la estación de Pisco es la que marca la diferencia, las otras elipses se superponen indicando similitud entre ellas.

#### 4.6.6 Análisis de correlación canónica: Datos registrados por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú. Año 2014.

La base de datos considerados para el análisis se encuentra estructurado en ACC3Marzo2019. Las variables consideradas corresponden a la temperatura, salinidad, oxígeno, pH, fosfatos, silicatos, nitratos y nitritos respectivamente en nueve estaciones correspondientes a Callao, Trayecto a Bermejo, Bermejo, Chimbote, Chicama, Trayecto a Punta Falsa, Punta Falsa, Trayecto a Punta a Paita y Paita.

El análisis de correlación canónica es una metodología estadística de múltiples variables, propuesto por Hotelling (1935), que tiene como objetivo resaltar las correlaciones entre dos conjuntos de datos. El término “canónica” indica que la metodología se basa en matrices, y el número de funciones es igual al número mínimo de variables a ser analizadas.

**Tabla 34**

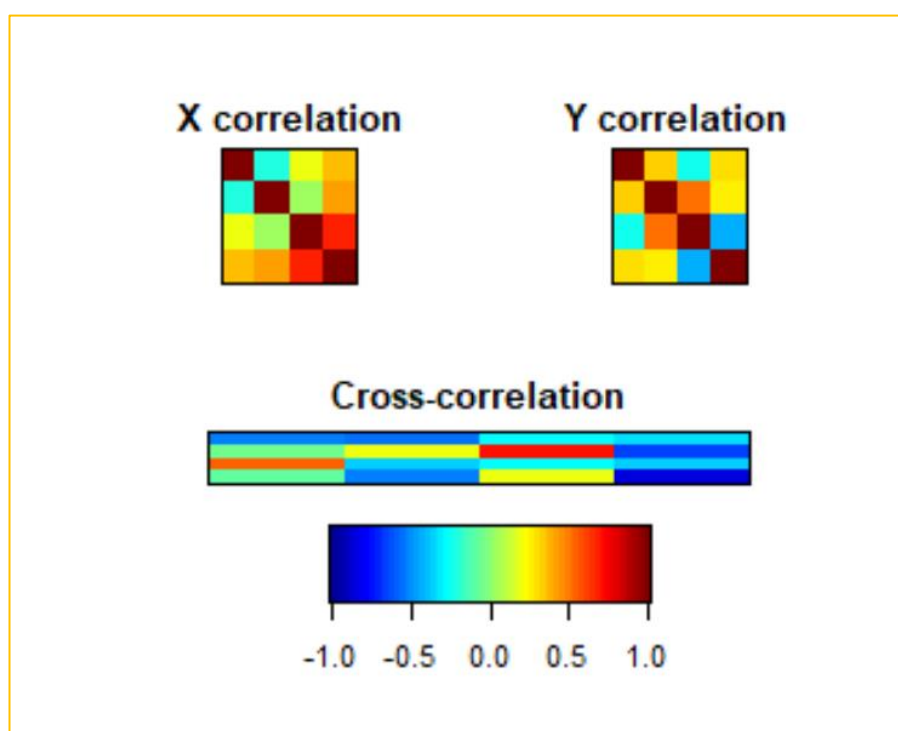
*Funciones asociadas a la correlación canónica.*

Función 1	Función 2	Función 3	Función 4
0.9890488	0.9525237	0.7365567	0.3428445

Puede observarse que la primera función describe el 98% de la variabilidad que es la mayor de todas.

Un paso preliminar consiste en visualizar las siguientes tres matrices de correlación.

- Matriz de correlación para X, que representa a las variables temperatura, salinidad, oxígeno y pH.
- Matriz de correlación para Y, que representa a las variables fosfato, silicato, nitrato y nitrito.
- Matriz de correlación cruzada.



*Figura 88.* Matrices de correlación para: Las variables en X, las variables en Y, la correlación cruzada  $X \times Y$ . Las correlaciones inversas son representadas con color azul y las correlaciones directas con color rojo, la presencia no presencia de correlación con color verde.

Las correlaciones canónicas pueden ser representadas mediante el siguiente gráfico de barras.

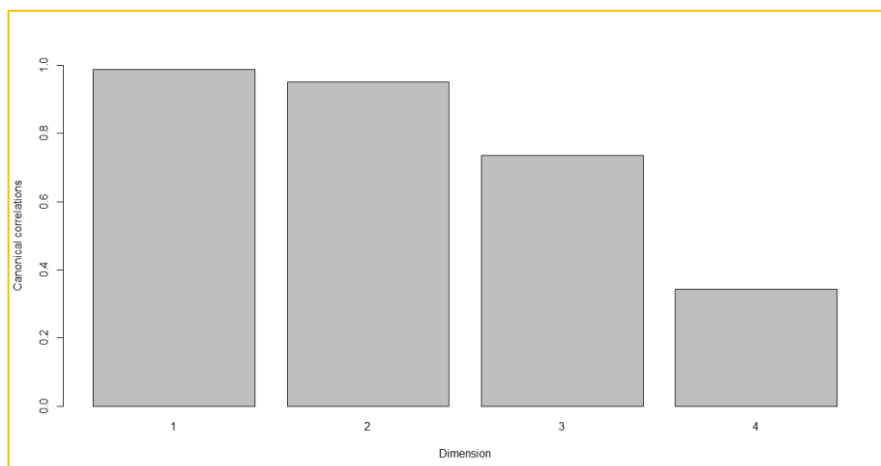


Figura 89. Representación de las correlaciones canónicas mediante un diagrama de barras.

La Figura 141 muestra que entre las dimensiones 1 y 2 existe una menor brecha que entre las otras dimensiones, lo cual permite considerar la elección de dos dimensiones.

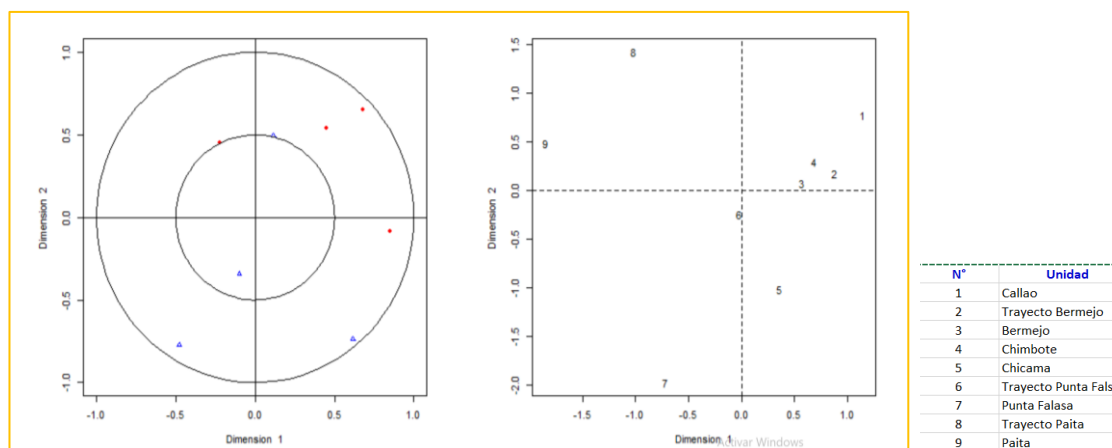


Figura 90. Variables (lado izquierdo) y las unidades de análisis (lado derecho) representadas sobre el plano definido por las dos primeras variables canónicas.

La Figura 90, permite observar que de acuerdo a las variables consideradas en el análisis el Trayecto a Bermejo, Bermejo y Chimbote evidencian similitud y una mayor correlación que las otras unidades de análisis (estaciones de monitoreo).

## CONCLUSIONES

La presente investigación ha permitido llegar a las siguientes conclusiones.

1. El análisis exploratorio de datos de la TSM en las estaciones de medición: El Salto, Paita, Lobos de Afuera, Chucuito, Pisco, Ático, Mollendo e Ilo, durante los años 1985 hasta 2015, evidenció que la temperatura mínima se registró en Mollendo en el año 1997 y la temperatura máxima se registró en El Salto en el año 2007 (Años en los cuales ocurrió el Fenómeno El Niño).
2. En las estaciones de medición: El Salto, Paita, Lobos de Afuera, Chucuito, Pisco, Ático, Mollendo e Ilo, durante los años 1985 hasta 2015, se observó que la TSM que presenta menor variabilidad 1.98% se presentó en El Salto y la mayor variabilidad 6.31% en Lobos de Afuera respectivamente. En general, puede decirse que existe precisión en los estadísticos utilizados.
3. En las estaciones de medición: Chucuito, Paita, Talara, Lobos de Afuera, Pisco, Chimbote, San Juan, y Matarani, durante los años 1984 hasta 2015, evidenció que el nivel superficial del mar en Chucuito, Talara, Pisco y Chimbote presentan la observación 14 que corresponde al año 1997 como un valor discordante, en el año 1997 se presentó el Fenómeno El Niño.
4. El análisis factorial realizado con las estaciones Chucuito, Paita, Talara, Lobos de Afuera, Pisco, Chimbote, San Juan, y Matarani respecto al nivel del mar 111(metros) evidencia que en el factor 1 están bien representados Chucuito, Talara, Lobos de Afuera, Chimbote y San Juan ; en el factor 2 están representados Matarani y Paita, en esta estructura Pisco no está adecuadamente representado en los dos factores.
5. El análisis de conglomerados realizado con las estaciones Chucuito, Paita, Talara, Lobos de Afuera, Pisco, Chimbote, San Juan, y Matarani respecto al nivel del mar permitió la conformación de dos conglomerados en forma exploratoria y realizado la prueba de Mann-Whitney se concluye que existe diferencia significativa entre las medianas del nivel del mar en los clúster conformados.
6. El diagrama de cajas en las zonas de monitoreo: Arequipa, Callao, Caleta Culebras, Cañete, Carquín, Casma, Cerro Azul, Chancay, Chimbote, Chorrillos, Coishco, Huacho, Huarney, Paita, Pampa Melchorita, Paramonga, Pisco, Pucusana, Samanco, San Bartolo, San Juan, Sechura, Supe, Talara, Végueta; respecto del pH mínimo durante los años 2005 hasta 2012 permite observar que en Carquín (Huacho) un outlier que corresponde al año 2006 con un valor del pH de 2.46. Según las normas

legales el pH para la conservación del ambiente acuático se encuentra en el rango de 6.8 a 8.5.

7. De acuerdo del análisis estadístico se observa que durante los años 2005 a 2012; el 25% de las zonas de monitoreo en estudio: Arequipa, Callao, Caleta Culebras, Cañete, Carquín, Casma, Cerro Azul, Chancay, Chimbote, Chorrillos, Coishco, Huacho, Huarney, Paita, Pampa Melchorita, Paramonga, Pisco, Pucusana, Samanco, San Bartolo, San Juan, Sechura, Supe, Talara, Végueta, el pH máximo es a lo más 7.848; que el 50% de las zonas de monitoreo el pH máximo es a lo más 7.918 y que el 75% de las zonas de monitoreo el pH máximo es a lo más 8.028. Los valores encontrados se enmarcan dentro de los límites establecidos como adecuados por los Estándares de Calidad de Aguas, establecidos en la Ley General de Aguas. Los valores del pH tienen mucha importancia porque regula muchos procesos químicos y biológicos en el océano.

8. Considerando el registro del oxígeno durante el periodo 1996-2012 en El Callao, se puede concluir la mediana del oxígeno es superior a 4 mg/L, que se encuentra dentro de los valores establecidos en la Ley General de Aguas. Se tiene conocimiento la disminución del oxígeno es una amenaza para la vida marina.

9. Los datos relacionados a la temperatura y salinidad durante el 15 de setiembre de 2011 al 15 de octubre de 2011, por el BAP CARRASCO en las líneas de monitoreo de San Juan, Callao, Punta Falsa, Paita Chimbote y Chicama, no mostraron observaciones discordantes y presentan distribuciones asimétricas. El análisis de estas dos variables considerando las estaciones, densidad, longitud, distancia a la costa siempre evidencia una relación directa no perfecta.

10. Los datos relacionados a la temperatura, salinidad, oxígeno, pH, fosfatos, silicatos, nitritos y nitratos durante el 26 de julio y 11 de agosto de 2014, por el BAP CARRILLO permitieron realizar un análisis de varianza multivariante no paramétrico PERMANOVA, el cual ha permitido concluir que existe diferencia significativa entre las líneas oceanográficas de Ático, Ilo, Piso y San Juan respecto a los valores medianos de las variables en estudio.

11. Los datos relacionados a la matriz datos X, conformada por la temperatura, salinidad, oxígeno y pH; y por la matriz de datos Y, constituida por los fosfatos, silicatos, nitritos y nitratos fueron analizados mediante el análisis de correlación canónica evidenciando que las líneas de monitoreo Trayecto a Bermejo, Bermejo y

Chimbote evidencian similaridad y una mayor correlación que las otras unidades de análisis.

12. Todo el procesamiento de los datos ha sido realizado con el soporte del software libre R, que se constituyó para esta investigación en una herramienta importante que permitió realizar la aplicación de las distintas metodologías estadísticas y la generación de gráficos con alta resolución.

13. El análisis estadístico univariante, multivariante descriptivo o inferencial ha permitido cumplir con el objetivo de caracterizar holísticamente el medio marino costero peruano en diferentes periodos de tiempo y en distintas estaciones de monitoreo.

## RECOMENDACIONES

1. A nivel mundial los ríos son los responsables del mayor porcentaje de la basura plástica por ello se propone realizar estudios oceanográficos y físicos influenciados por los desechos del mar peruano procedentes de los ríos y que desembocan en el mar por la acción de las corrientes.
2. En el siglo XIX, el sabio Antonio Raimondi señaló que:  
*“El Niño, como tal, es conocido desde que civilizaciones preincas como los Moche, los Lima y los Nazca se asentaron en las costas del Perú antiguo. La geomorfología, los estudios de sedimentos y la paleontología señalan que el Fenómeno El Niño ocurre por lo menos desde hace 40,000 años. Además, estas investigaciones arqueológicas demuestran que cambios drásticos del clima afectaron la costa central del Perú (Cultura Lima, aproximadamente 400 d.C.). La situación resultó ser especialmente dramática para la nación Moche en la costa norte del Perú (200 – 700 d.C.). Todo indica que, durante las primeras décadas del siglo VII de nuestra era, esta próspera civilización sufrió los estragos de un prolongado e implacable episodio El Niño”.*  
Dada la importancia que tiene el fenómeno El Niño, se propone realizar una investigación utilizando modelos estadísticos para medir su impacto ambiental. Asimismo estudiar los fenómenos anormales en general en el Perú.
3. Consolidar los convenios de nuestra universidad con instituciones como IMARPE y la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, debido a las dificultades que se encuentran al momento de solicitar los datos que registran en el mar peruano.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afifi, A. A., Clark, V. (2016). *Computer-Aided Multivariate Analysis*. London: Chapman & Hall.
- Brack, A. y Mendiola, C. (2000). *Ecología del Perú*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Lima: Asociación Editorial Bruño. 495 pp.
- Carbone, C. A. A. (2013). Un modelo de gravedad reducida de la hidrodinámica y termodinámica en zona costera. Caso de estudio: Bahías de Pisco y Paracas. *Revista de Investigación de Física*, 16(01).
- Cohen J.L., Furtado J.C., Barlow M., Alexeev V.A., Cherry J.E. (2012). Asymmetric seasonal temperature trends, *Geophysical Research Letters* 39, L04705, 7pp.
- Davis, J. (2002). *Statistics and data analysis in geology*. 3rd edition.
- Dytham, C. (2010). *Choosing and Using Statistics*. 3rd edition.
- Ellis, E. C. (2015). Ecology in anthropogenic biosphere. *Ecological Moonographs*, 85(3):287-331.
- Emery, W.J. . (2001). Water types and water masses. *Encyclopedia of Ocean Sciences*. *Encyclopedia of Ocean Sciences*, 6, 3179-3187.
- Everitt, B. and Graham, D. . (2010). *Applied Multivariate Data Analysis*. Estados Unidos: John Wiley & Sons.
- Excelmes, H., & Yuvalena, I. (2011). Análisis del marco normativo nacional e internacional para el manejo integrado de las zonas marino costeras. <http://consultorias.minam.gob.pe/cons/handle/minam/152>
- Freeman A. . (1992). *Control de la Contaminación del Aire y el agua*. . México: Edit. Limusa.
- González R. (2010) *Los derechos humanos y el riesgo que causa el agua contaminada del río Moche en Trujillo, Perú*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- Gualancañay, E., Villamar, F., Naranjo, C., Cruz, M., & Tapia, M. E. (2010). *Caracterización biológica de la bahía de Jaramijó en la costa Ecuatoriana*.
- Iribarnegaray, M., Copa, F., Dominguez, R., Guerra Munizaga, M., Leon, H., Moreno Solá, A., & Seghezze, L. (2009). *Desarrollo de una metodología integral para la*

- evaluación de la sustentabilidad del sistema de gestión del agua y el saneamiento en Salta, Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13.
- Jacinto. M (2014). Propuesta de un sistema de indicadores ambientales y socio económicos en la zona marino costera de Pisco – Paracas. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Kim K-Y, Hamlington B. and Na H. (2015). Theoretical Foundation of Cyclostationary EOF Analysis for Geophysical and Climatic Variables: Concepts and Examples *Earth-Sci. Rev.* 150 201–18.
- Mejia Gallegos, J. G. (2015). Las 200 millas del mar del Callao y la riqueza de sus recursos.
- Muñoz, O. G. (2015). La aplicación de métodos multivariados y estructurales de estadística en la interpretación de las condiciones de ingreso per cápita. *Ciencia Administrativa*, (2), 77-84.
- Myers, S. S., et al. (2013). Human health impacts of ecosystem alteration. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 111(47):18753-18760.
- Patiño CO. (2010). Solubilización de fosfatos por poblaciones bacterianas aisladas de un suelo del valle del cauca. Estudio de biodiversidad y eficiencia. [Tesis doctoral]. Colombia;
- Steffen et al. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347, 1259855
- Quiroz Lozano, R. (2013). Efectos del cambio climático en el Perú.  
<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/422>
- Tayco, J., & Elena, M. (2014). Propuesta de un sistema de indicadores ambientales y socio económicos en la zona marino costera de Pisco-Paracas.
- Umpiérrez, O. (2016). Análisis de impactos hidrológicos del " El Niño". Compilación, estudios e investigación.
- Vásquez. F. (2010). *Evaluación del índice de calidad del agua en el área de influencia del botadero municipal de Tarapoto sector Yacucatina San Martín – Perú*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de San Martín, Perú.  
Recuperado de <http://tesis.unsm.edu.pe/jspui/handle/11458/328>
- Williamson, R., Field, J. G., Shillington, F. A., Jarre, A., & Potgieter, A. (2011). A Bayesian approach for estimating vertical chlorophyll profiles from satellite remote

sensing: proof-of-concept. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 68(4), 792-799.

Zar, J.(2009). *Biostatistical Analysis*. 5th Edition.

**ANEXO A**

## Anexo A.

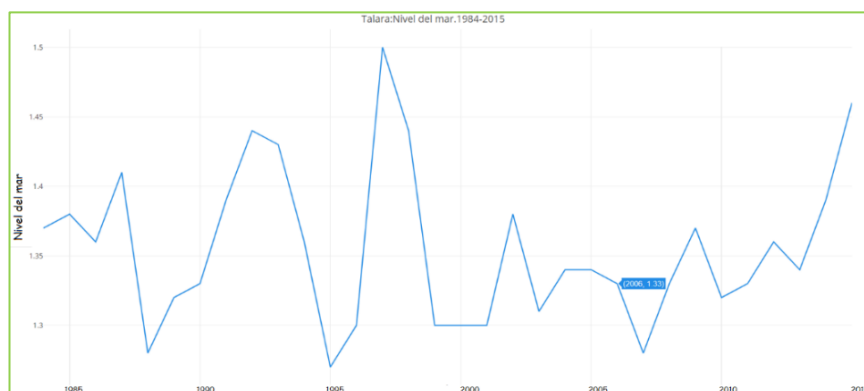


Figura 1A. Dinámica del nivel superficial del mar en la estación de Talara.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/NMTalara1942015.html>

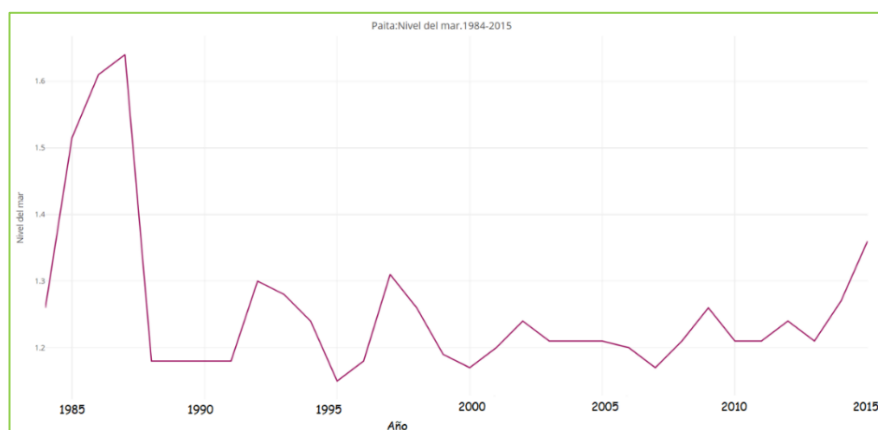


Figura 2A. Dinámica del nivel superficial del mar en la estación de Paita.

[file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/NMPaita\\_119842015.html](file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/NMPaita_119842015.html)

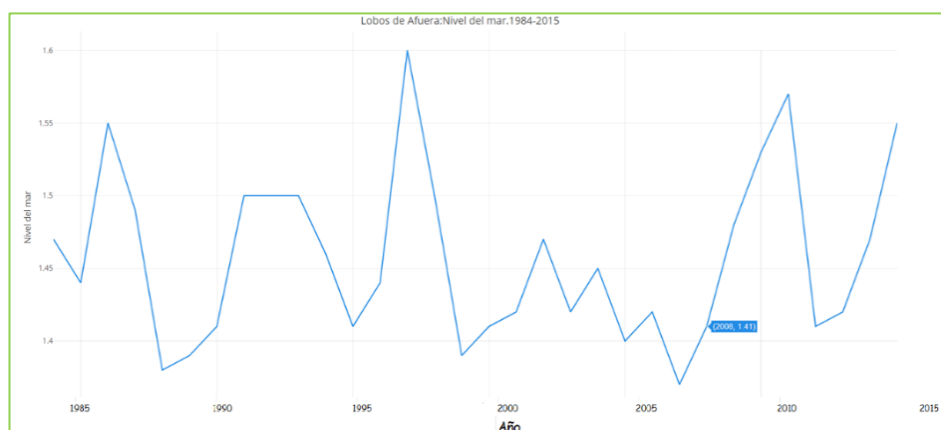


Figura 3A. Dinámica del nivel superficial del mar en la estación de Lobos de Afuera.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/NMLobosA19842015.html>

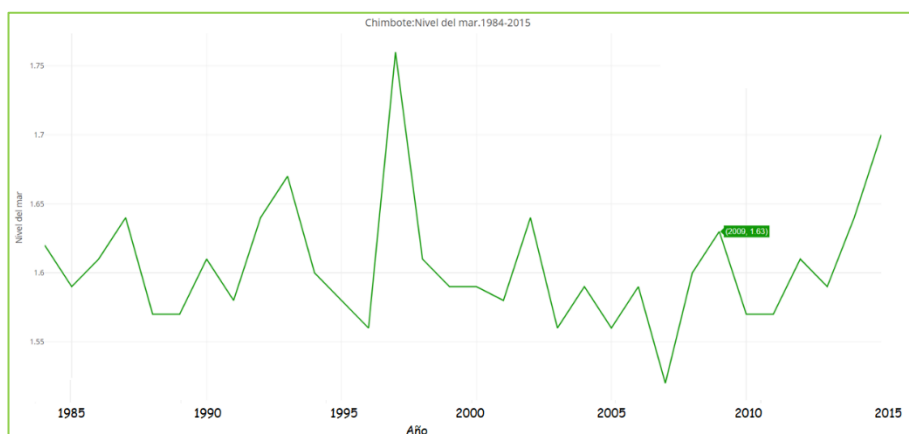


Figura 4A. Dinámica del nivel superficial del mar en la estación de Chimbote.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/NMChimbote19842015.html>

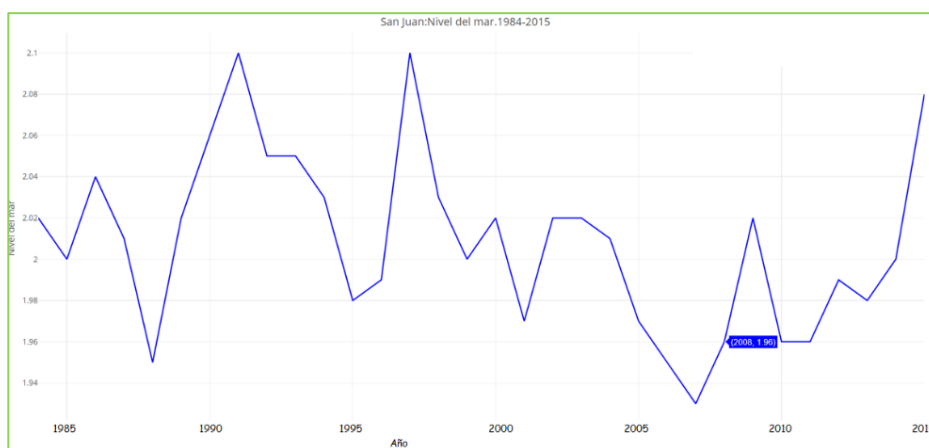


Figura 5A. Dinámica del nivel superficial del mar en la estación de San Juan.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/NMSanJuan1942015.html>

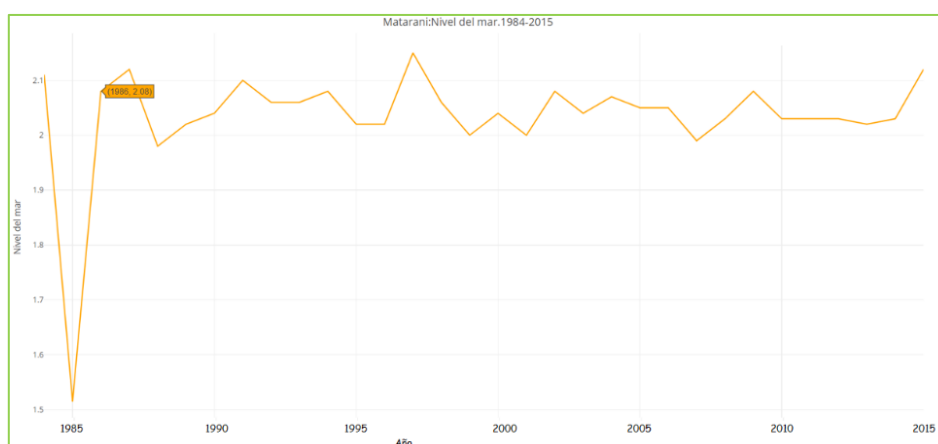


Figura 6A. Dinámica del nivel superficial del mar en la estación de Matarani.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/NMMatarani19842015.html>

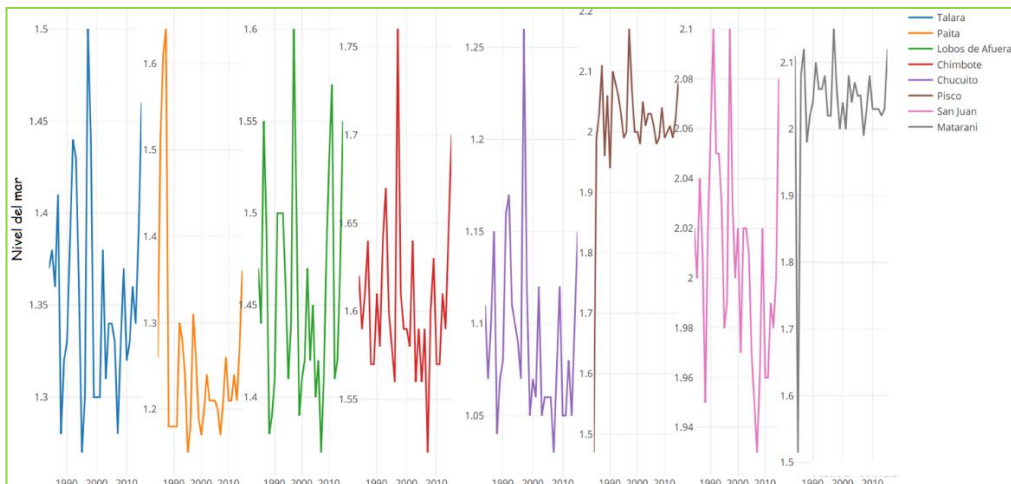


Figura 7A. Secuencia de las medias de los niveles superficiales del mar en las estaciones de Chucuito, Paita, Talara, Lobos de Afuera, Pisco Chimbote, San Juan y Matarani. 1984-2015.

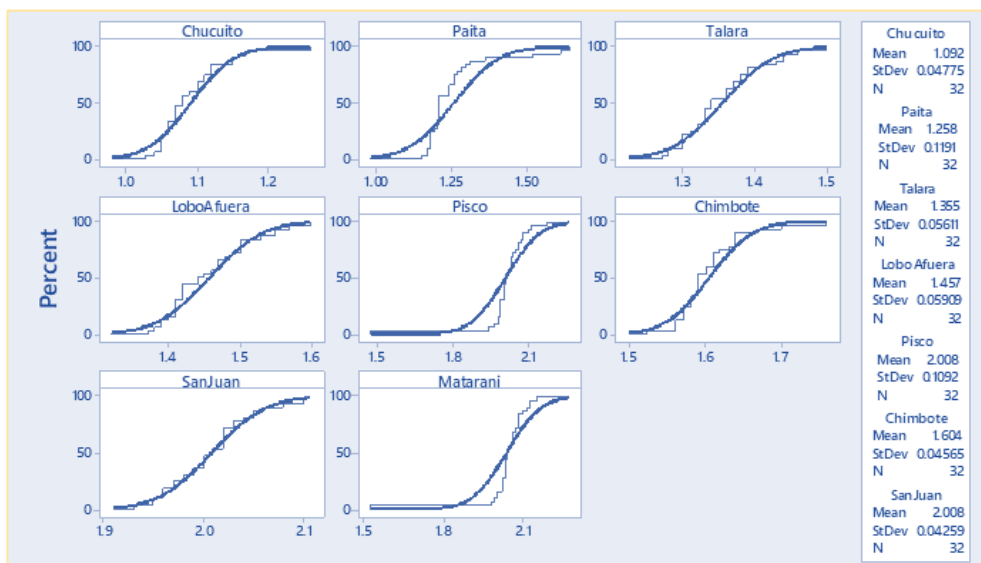


Figura 8A. Función de distribución de probabilidad (CDF) del nivel superficial del mar de las estaciones de Chucuito, Paita, Talara, Lobos de Afuera, Pisco Chimbote, San Juan y Matarani. 1984-2015.

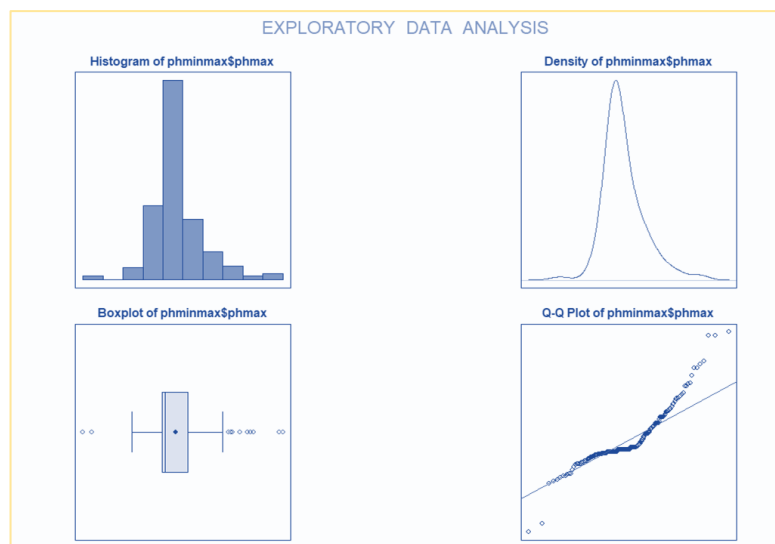


Figura 9A. Análisis exploratorio del pH máximo en las 25 bahías en estudio y durante el periodo 2005 -2012.

#### A.1 Análisis exploratorio bivalente del pH mínimo y pH máximo en las 25 bahías en estudio durante los años 2005-2012.

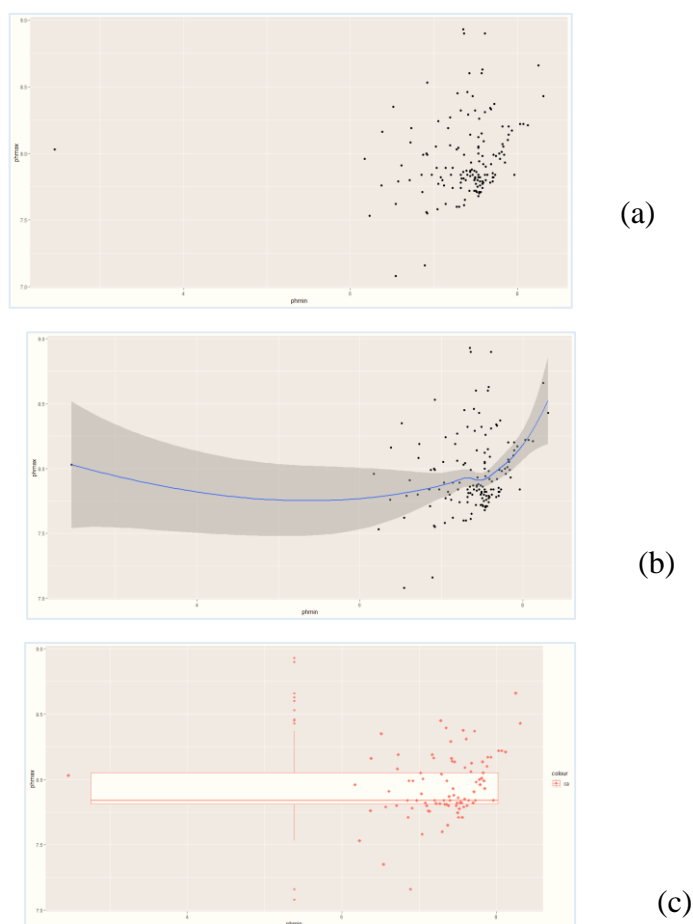


Figura 10A. Diagrama de dispersión del pH mínimo y pH máximo (a). Ajuste del pH mínimo versus el pH máximo (b). Diagrama de cajas del pH mínimo vs. el pH máximo (c). En el proceso se consideraron las 25 zonas de monitoreo durante 2005-2012.



## A.2 Análisis exploratorio y ANOVA: Fosfato.

El fosfato es uno de los nutrientes primarios en el mar, y es de gran importancia por el control que ejerce sobre la productividad orgánica, como consecuencia influye en la formación de materia viva en el mar. Se encuentra disuelto en el agua en forma de ortofosfato, o en forma partículas contenidas en los detritos orgánicos y alcanza valores máximos en las zonas costeras, estuarios o en cuencas marinas anóxicas. Los mayores reservorios de fósforo en su ciclo natural son los océanos profundos, los sedimentos marinos someros y los suelos.

**Tabla A.2.1**

*Análisis descriptivo del fosfato mensual en la superficie del agua de mar frente al Callao, 1996-2012.*

Intervalo	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta Acumulada	Frecuencia relativa Acumulada
[0.24 - 0.93)	11	5,4	11	5,4
[0.93 - 1.62)	62	30,4	73	35,8
[1.62 - 2.31)	110	53,9	183	89,7
[2.31 - 3.00)	17	8,3	200	98,0
[3.00 - 3.69)	4	2,0	204	100,0
Total	204	100,0		

Se puede afirmar que en 62 de los 204 meses analizados durante los años 1996 a 2012 frente al mar del Callao, el fosfato ha variado entre 0.93 y 1.62.

Función de densidad de la variable fosfato.

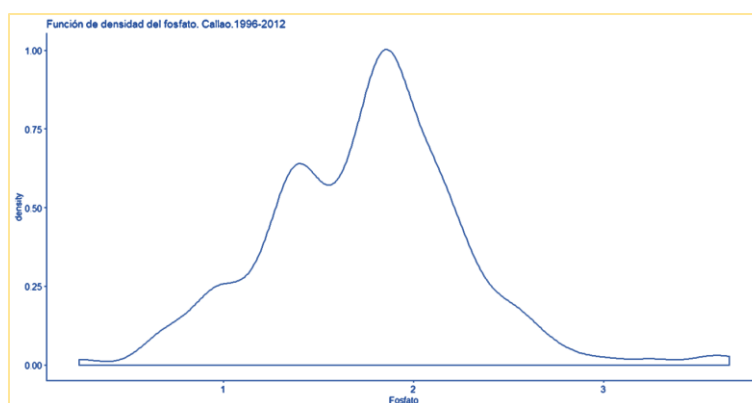


Figura 11A. Función de densidad empírica de la variable fosfato.

Gráfico de probabilidad normal.

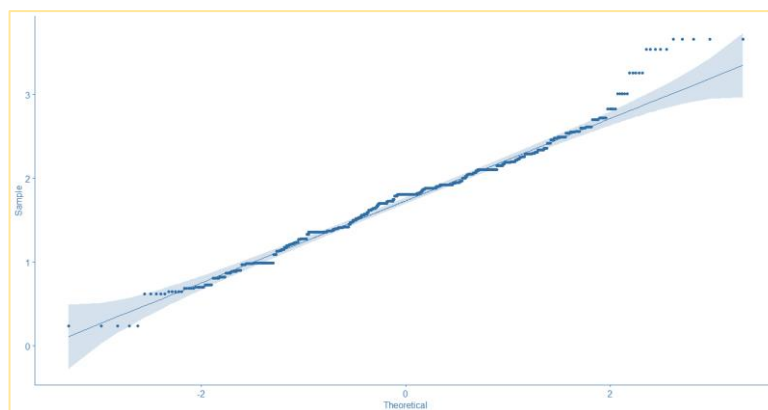


Figura 12A Q-Q plot de la variable fosfato.

Exploratoriamente, se observa que la variable fosfato no tiene distribución normal. Se presenta en la siguiente tabla la prueba confirmatoria respecto a la distribución del fosfato.

**Tabla A.2.2**

*Test de Shapiro Wilk para contrastar la normalidad de la variable fosfato.*

Hipótesis	Estadístico de Prueba	Criterio de Decisión
$H_0$ : La variable fosfato tiene distribución normal $H_1$ : La variable fosfato no tiene distribución normal $\alpha = 0.05$	<b>W = .97822</b>	Se rechaza la hipótesis nula si: $p\text{-valor} < 0.05$ En este test se obtiene un $p\text{-valor} = 3.1e-11 < 0.05$ Por lo tanto, se rechaza $H_0$ .
<b>Conclusión:</b> El test es significativo. La variable fosfato no tiene distribución normal.		

La distribución del fosfato en el Callao, durante los años 1996-2012 no tiene distribución normal.  
 Shapiro-Wilk normality test

W = 0.97822, p-value = 3.1e-11

La figura 13A muestra mediante los boxplots la evolución del fosfato en el periodo 1996-2012.

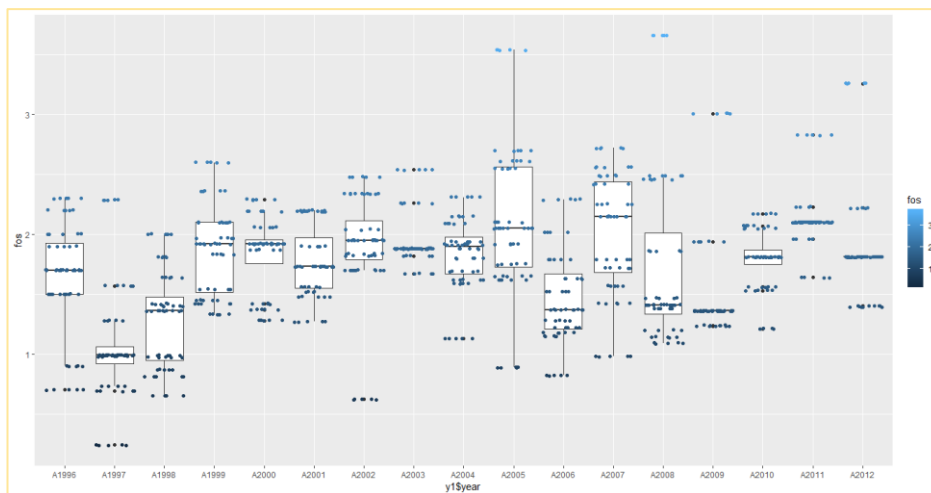


Figura 13A Evolución anual del fosfato:1996-2012.

Agrupación de la variable fosfato en los siguientes periodos de tiempo.

Grupo 1: Periodo 1996-1999

Grupo 2: Periodo 2000-2005

Grupo 3: Periodo 2006-2012

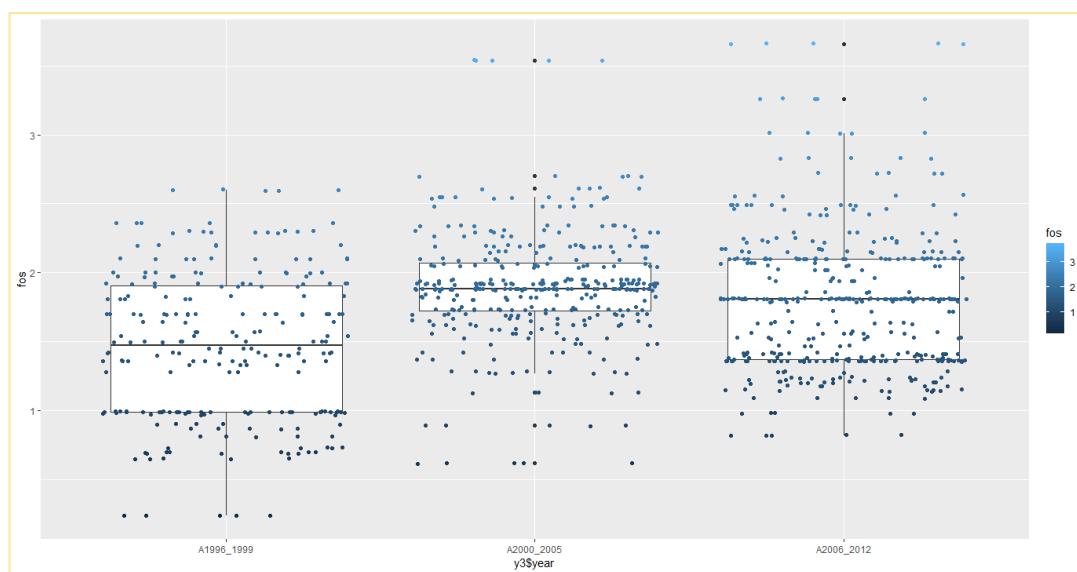


Figura 14A. Evolución del fosfato por periodos de tiempo:1996-1999, 2000-2005, 2006-2012.

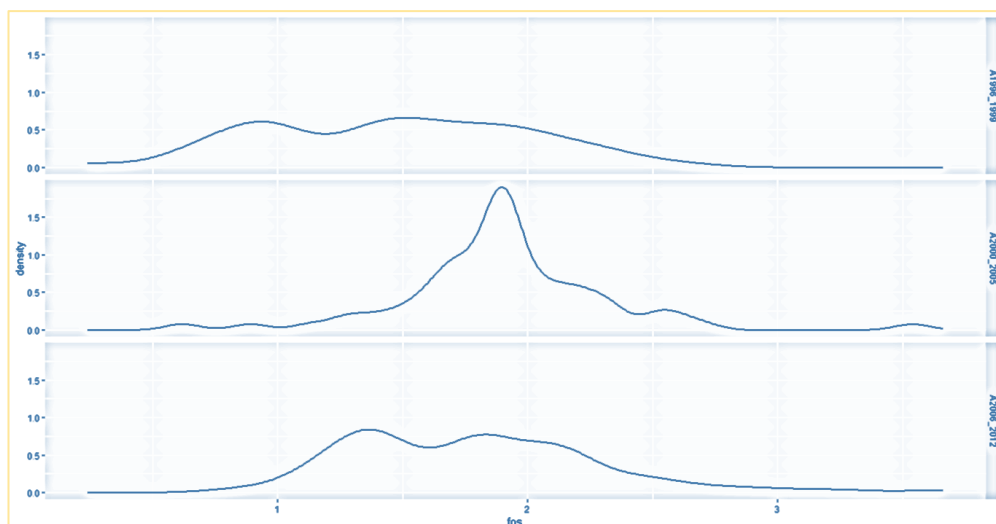


Figura 15A. Función de densidad empírica del fosfato por periodos de tiempo: 1996-1999, 2000-2005, 2006-2012

El análisis exploratorio muestra que hay diferencia entre los periodos considerados para la evaluación del fosfato. El análisis de varianza no paramétrico permitirá contrastar la igualdad de las medianas de los valores del fosfato en los tres grupos en estudio y confirmar la diferencia existente.

### Tabla A.2.3

*Test de Kruskal-Wallis para contrastar las medianas de la variable fosfato en tres periodos en estudio.*

Hipótesis	Estadístico de Prueba	Criterio de Decisión
$H_0: M_1 = M_2 = M_3$		Se rechaza la hipótesis nula si el p-valor <
$H_1$ : Al menos una de las medianas es diferente	K= 96.527	0.05
$\alpha = 0.05$		En este caso el p-valor =2.2e-16 < 0.05 Por lo tanto, se rechaza $H_0$ .

**Conclusión:** El test es significativo. Al menos una de las medianas es diferente.

El ANOVA, permite concluir que la mediana de los fosfatos en los tres periodos de tiempo son diferentes.

Kruskal-Wallis rank sum test  
Kruskal-Wallis chi-squared = 96.527, df = 2, p-value < 2.2e-16

Los resultados presentados en la siguiente tabla corresponden a los p-valor de los contrastes realizados por pares de grupos, en todos los casos el p-valor es inferior a

0.05 lo cual implica que existe diferencia significativa entre las medianas de los grupos considerando una comparación por pares.

**Tabla 2.2.4**

*Test de Wicoxon para comparar medianas por pares de periodos de tiempo: p-valor*

	A1996_1999	A2000_2005
A2000_2005	< 2e-16	-
A2006_2012	3.0e-10	1.9e-06

Pairwise comparisons using Wilcoxon rank sum test  
 A1996\_1999 A2000\_2005  
 A2000\_2005 < 2e-16 -  
 A2006\_2012 3.0e-10 1.9e-06  
 P value adjustment method: holm

### A3. Análisis exploratorio y ANOVA: Silicato.

Los silicatos constituyen el grupo químico de minerales más importante y, de mayor abundancia por presentar un amplio rango de composición. Conforman aproximadamente el 25% de minerales conocidos y está presente en el agua de mar fundamentalmente en forma de iones silicato y posiblemente como sílice coloidal y ácido orto silícico de los que se encuentran trazas. La concentración de silicatos en las aguas superficiales generalmente es baja, debido a su utilización por los organismos (diatomeas, radiolarios, etc.), incrementándose con la profundidad hasta alcanzar los valores más altos en el fondo. La siguiente tabla de distribución de frecuencias presenta la distribución de la variable silicato.

**Tabla A.3.1**

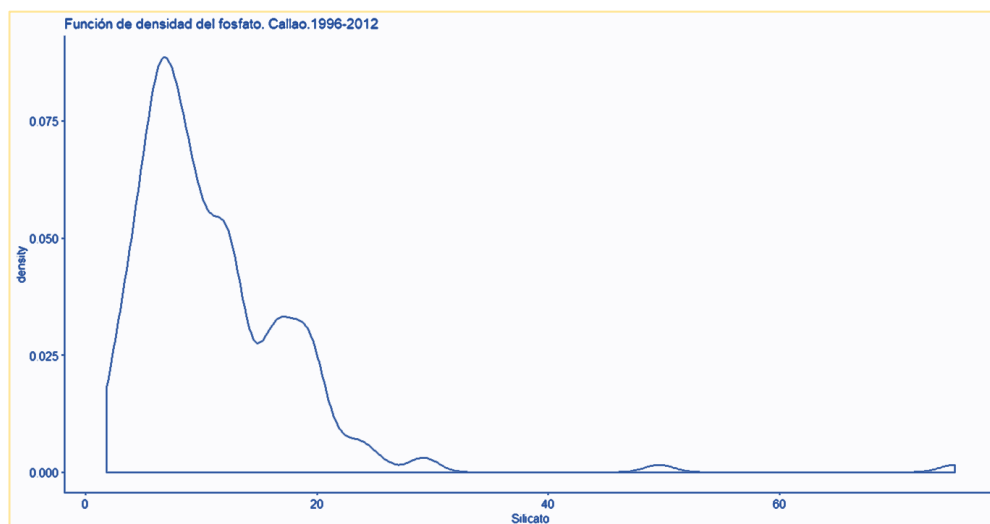
*Análisis estadístico descriptivo del silicato mensual en la superficie del agua de mar frente al Callao, 1996-2012.*

Intervalo	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
[ 1.84 - 14.05)	153	75.0	153	75.0
[ 14.05 - 26.26)	47	23.0	200	98.0
[26.26 - 38.47)	2	1.0	202	99.0
[38.47 - 50.68)	1	.5	203	99.5
[62.89 - 75.12)	1	.5	204	100.0
Total	204	100.0		

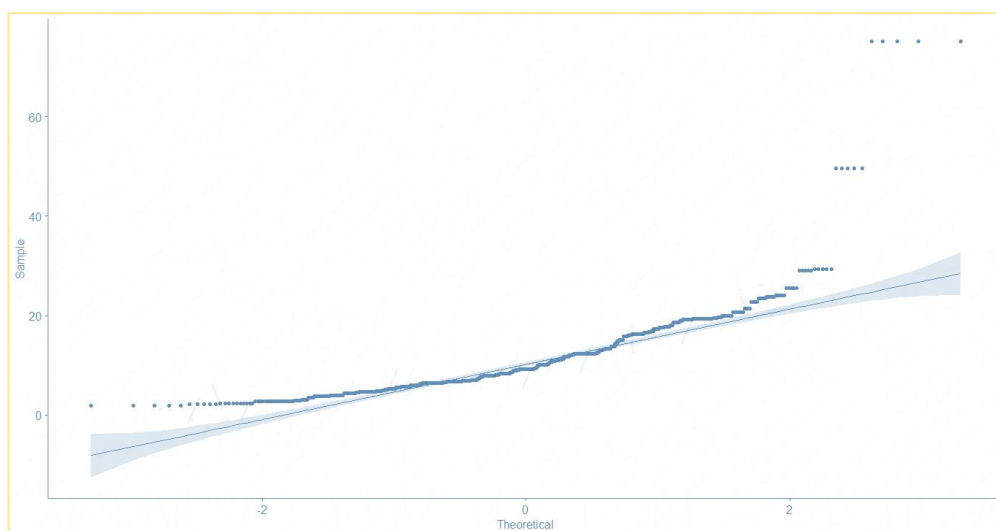
*Fuente: Elaboración propia de la investigación.*

Se puede afirmar que el 75% de los meses los valores del silicato se encuentra entre 1.84 y 14.05 ( $\mu\text{M}$ ), y que el 99% de los meses los valores del los silicatos tienen un máximo de 38.47  $\mu\text{M}$ .

**Función de densidad empírica de la variable silicato y su respectivo Q-Q plot.**



*Figura A15.* Función de densidad empírica de la variable silicato.



*Figura 16A.* Q-Q plot de la variable silicato.

Exploratoriamente, se observa que la variable silicato no tiene distribución normal. Se presenta en la siguiente tabla la prueba confirmatoria respecto a la distribución del silicato.

**Tabla A.3.2**

Test de Shapiro Wilk para contrastar la normalidad de la variable silicato.

Hipótesis	Estadístico de Prueba	Criterio de Decisión
$H_0$ : La variable silicato tiene distribución normal	$W = 0.73206$	Se rechaza la hipótesis nula si: $p\text{-valor} < 0.05$
$H_1$ : La variable silicato no tiene distribución normal		En este test se obtiene un $p\text{-valor} = 2.2e-16 < 0.05$
$\alpha = 0.05$		Por lo tanto, se rechaza $H_0$ .

**Conclusión:** El test es significativo. La variable silicato no tiene distribución normal.

La distribución del silicato en el Callao, durante los años 1996-2012 no tiene distribución normal.

Shapiro-Wilk normality test  
 $W = 0.73206$ ,  $p\text{-value} < 2.2e-16$

La figura 51 muestra mediante los boxplots la evolución del silicato en el periodo 1996-2012.

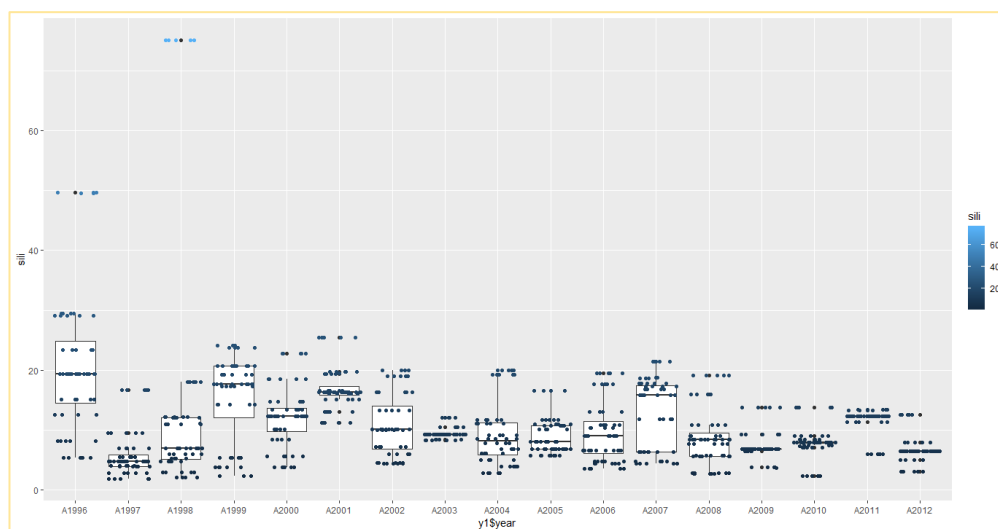


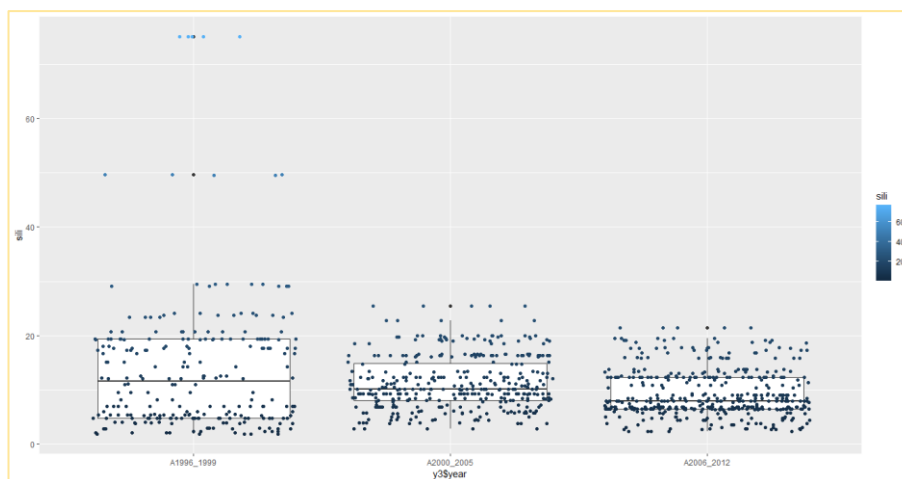
Figura 17A. Evolución anual del silicato:1996-2012.

Agrupación de la variable silicato en los siguientes periodos de tiempo.

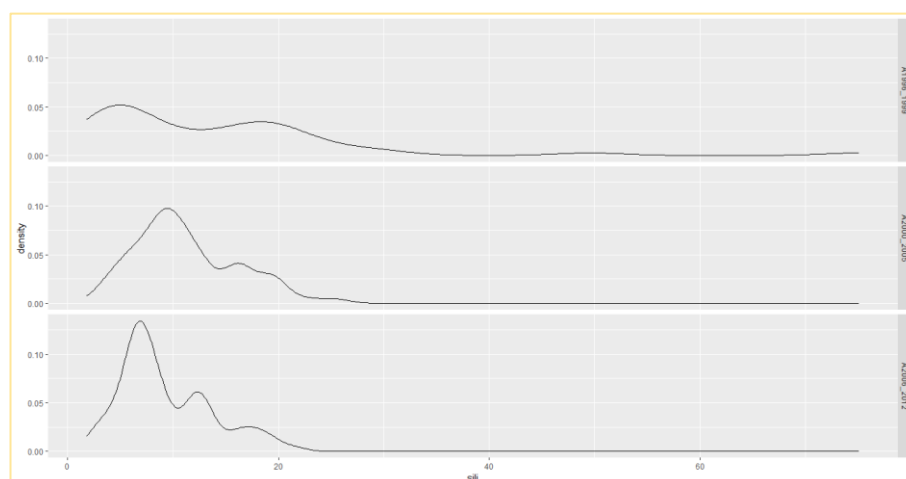
Grupo 1: Periodo 1996-1999

Grupo 2: Periodo 2000-2005

Grupo 3: Periodo 2006-2012



*Figura 18A.* Evolución del fosfato por periodos de tiempo:1996-1999, 2000-2005, 2006-2012.



*Figura 19A.* Función de densidad empírica del silicato por periodos de tiempo: 1996-1999, 2000-2005, 2006-2012

Se realizará el análisis confirmatorio mediante el análisis de varianza no paramétrico para contrastar la igualdad de las medianas de los valores del silicato en los tres grupos en estudio.



**Tabla A.3.3**

*Test de Kruskal-Wallis para contrastar las medianas de la variable silicato en tres periodos en estudio.*

Hipótesis	Estadístico de Prueba	Criterio de Decisión
$H_0: M_1 = M_2 = M_3$ $H_1$ : Al menos una de las medianas es diferente $\alpha = 0.05$	K= 31.539	Se rechaza la hipótesis nula si el p-valor < 0.05 En este caso el p-valor =1.417e-07 < 0.05 Por lo tanto, se rechaza $H_0$ .

**Conclusión:** El test es significativo. Al menos una de las medianas es diferente.

El ANOVA, permite concluir que el silicato mediano en los grupos en estudio son diferentes.

Kruskal-Wallis rank sum test

Kruskal-Wallis chi-squared = 31.539, df = 2, p-value= 1.417e-07

Los resultados presentados en la siguiente tabla corresponden a los p-valor de los contrastes realizados por pares de grupos, en este caso no existe evidencia que la mediana del grupo conformado por los años 1996-1999 sea diferente que la mediana del grupo conformado por los años 2000-2005.

**Tabla A.3.4**

*Test de Wicoxon para comparar medianas por pares de periodos de tiempo: p-valor*

	A1996_1999	A2000_2005
A2000_2005	0.876	-
A2006_2012	0.015	2.3e-09

Pairwise comparisons using Wilcoxon rank sum test

A1996\_1999 A2000\_2005

A2000\_2005 0.876 -

A2006\_2012 0.015 2.3e-09

P value adjustment method: holm

#### A4 Análisis estadístico: Nitrato.

El nitrógeno es un nutriente fundamental para los organismos fotosintetizadores, pero si se encuentra en exceso puede provocar graves alteraciones en la calidad del agua. Los nitratos son componentes nitrogenados y son el resultado final del ciclo del nitrógeno en el cual unas bacterias llamadas nitrosomonas y nitrobacter se encargan de transformar el amoníaco en una sustancia menos toxica, los nitratos. La contaminación del agua por nitratos puede tener efectos sobre la salud, y sobre el equilibrio de los ecosistemas. Muchas veces es causante de un efecto de eutrofización.

**Tabla A.4.1**

*Análisis estadístico descriptivo del nitrato mensual en la superficie del agua de mar frente al Callao. 1996-2012.*

Intervalo	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
[ 0.04 - 3.08)	54	26.5	54	26.5
[ 3.08 - 6.12)	47	23.0	101	49.5
[ 6.12 - 9.16)	44	21.6	145	71.1
[ 9.16 - 12.20)	29	14.2	174	85.3
[12.20 - 15.24)	23	11.3	197	96.6
[15.24 - 18.28)	7	3.4	204	100.0
Total	204	100.0		

*Fuente: Elaboración propia de la investigación.*

Se puede afirmar que el 21.6% de los meses los valores del nitrato se encuentra entre 6.12 y 9.16 ( $\mu\text{M}$ ), y que el 85.3% de los meses los valores del los nitratos tienen un máximo de 12.20  $\mu\text{M}$ .

### Función de densidad empírica de la variable nitrato Q-Q plot.

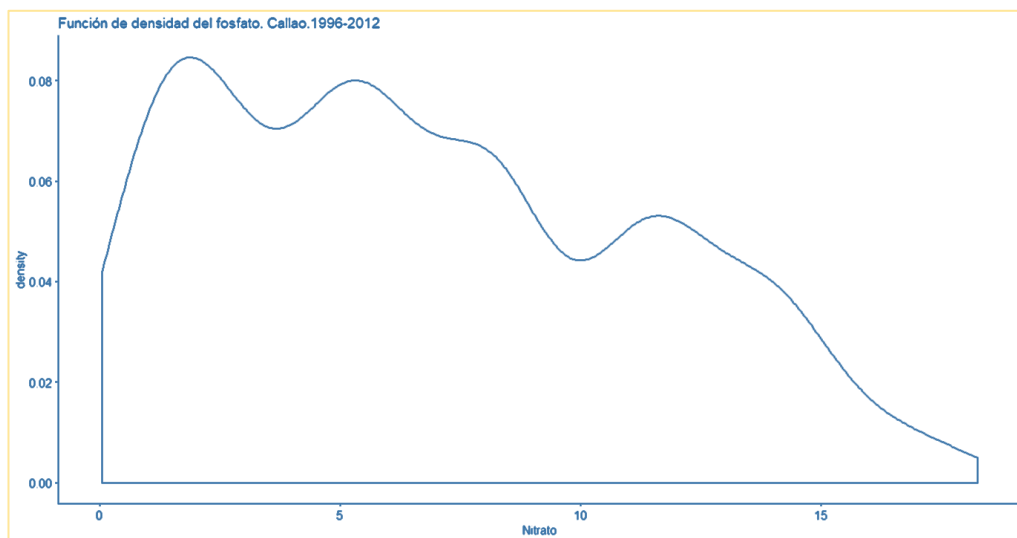


Figura 20A. Función de densidad empírica de la variable nitrato.

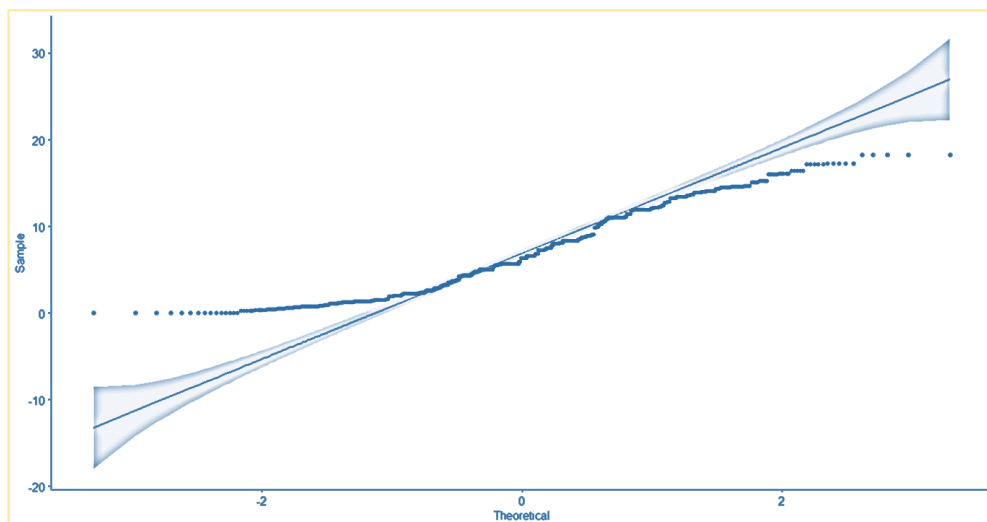


Figura 21A Q-Q plot de la variable nitrato.

Exploratoriamente, se observa que la variable nitrato no tiene distribución normal. Se presenta en la siguiente tabla la prueba confirmatoria respecto a la distribución del nitrato.

**Tabla A.4.2**

Test de Shapiro Wilk para contrastar la normalidad de la variable nitrato.

Hipótesis	Estadístico de Prueba	Criterio de Decisión
$H_0$ : La variable nitrato tiene distribución normal $H_1$ : La variable nitrato no tiene distribución normal $\alpha = 0.05$	$W = 0.95323$	Se rechaza la hipótesis nula si: $p\text{-valor} < 0.05$ En este test se obtiene un $p\text{-valor} = 2.2e-16 < 0.05$ Por lo tanto, se rechaza $H_0$ .
<b>Conclusión:</b> El test es significativo. La variable nitrato no tiene distribución normal.		

Shapiro-Wilk normality test

$W = 0.95323$ ,  $p\text{-value} < 2.2e-16$

La Figura 22A muestra mediante los boxplots la evolución del nitrato en el periodo 1996-2012.

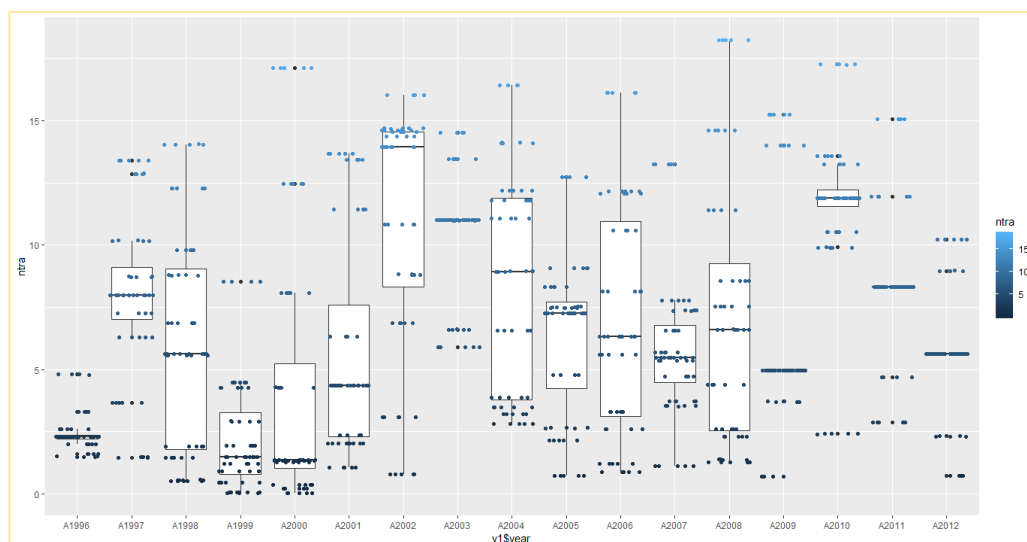


Figura 22A. Evolución anual del silicato:1996-2012.

Agrupación de la variable nitrato en los siguientes periodos de tiempo.

Grupo 1: Periodo 1996-1999

Grupo 2: Periodo 2000-2005

Grupo 3: Periodo 2006-2012

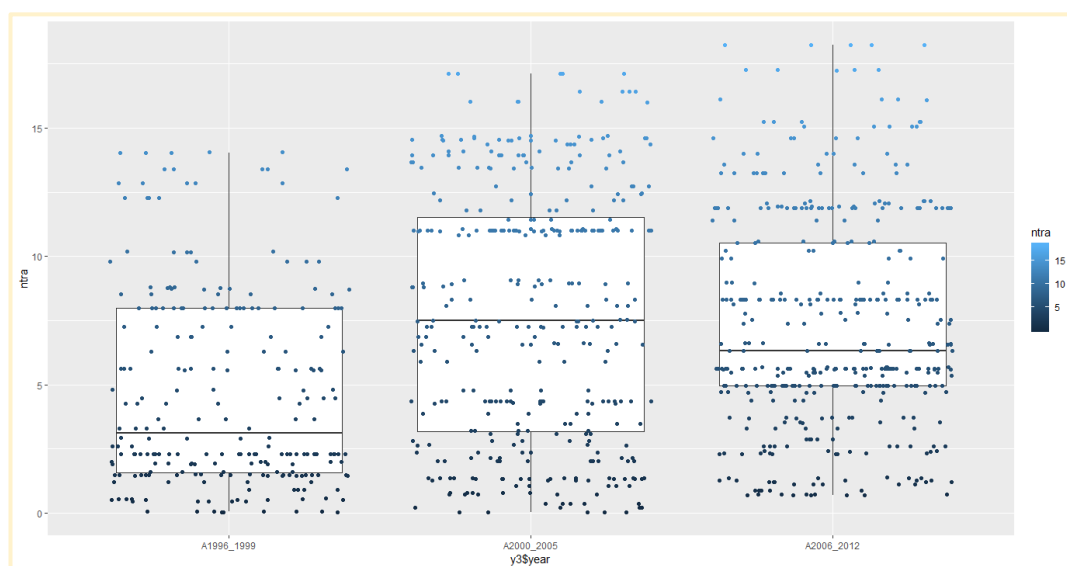


Figura 23A. Evolución del nitrato por periodos de tiempo: 1996-1999, 2000-2005, 2006-2012.

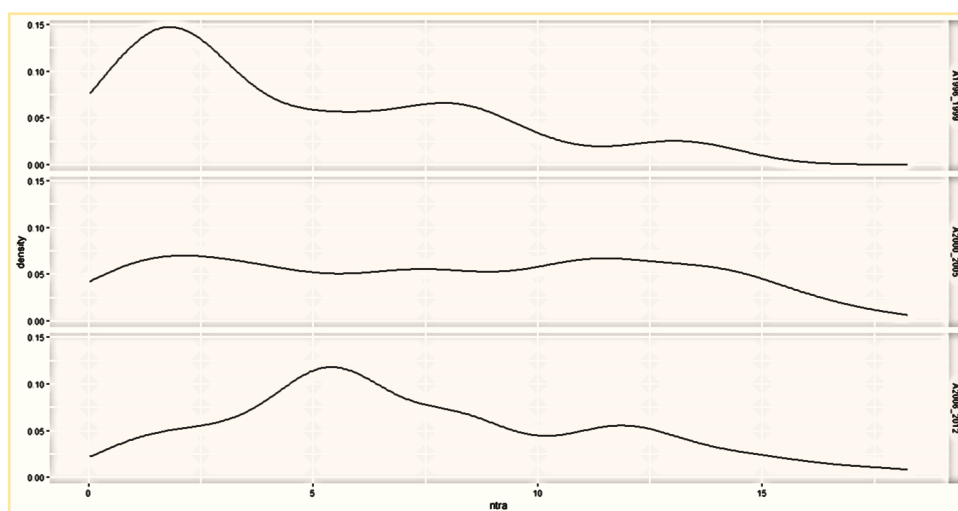


Figura 24A Función de densidad empírica del nitrato por periodos de tiempo: 1996-1999, 2000-2005, 2006-2012 .

Se realizará el análisis confirmatorio mediante el análisis de varianza no paramétrico para contrastar la igualdad de las medianas de los valores del nitrato en los tres grupos en estudio.

**Tabla A.4.3**

*Test de Kruskal-Wallis para contrastar las medianas de la variable nitrato en tres periodos en estudio.*

Hipótesis	Estadístico de Prueba	Criterio de Decisión
$H_0: M_1 = M_2 = M_3$ $H_1$ : Al menos una de las medianas es diferente $\alpha = 0.05$	K= 75.178	Se rechaza la hipótesis nula si el p-valor < 0.05 En este caso el p-valor = 2.2e-16 < 0.05 Por lo tanto, se rechaza $H_0$ .
<b>Conclusión:</b> El test es significativo. Al menos una de las medianas es diferente.		

El ANOVA, permite que se concluya que el silicato mediano en los grupos en estudio son diferentes.

Kruskal-Wallis rank sum test

Kruskal-Wallis chi-squared = 75.178, df = 2, p-value < 2.2e-16

Los resultados presentados en la siguiente tabla corresponden a los p-valor de los contrastes realizados por pares de grupos, en este caso no existe evidencia que la mediana del grupo conformado por los años 1996-1999 sea diferente que la mediana del grupo conformado por los años 2000-2005.

**Tabla A.4.4**

*Test de Wicoxon para comparar medianas por pares de periodos de tiempo: p-valor*

	A1996_1999	A2000_2005
A2000_2005	2.0e-13	-
A2006_2012	1.7e-15	0.42

En este caso no existe evidencia que la mediana del grupo conformado por los años 2000-2005 es diferente que la mediana del grupo conformado por los años 2006-2012.

Pairwise comparisons using Wilcoxon rank sum test

A1996\_1999 A2000\_2005  
 A2000\_2005 2.0e-13 -

A2006\_2012 1.7e-15 0.42

P value adjustment method: holm

### A5 Análisis exploratorio y ANOVA: Nitrito.

Los nitritos de forma natural pueden encontrarse en suelos que contengan un pH superior a 7.7 Los fertilizantes nitrogenados pueden originar directamente nitritos en lugar de nitratos cuando estos son aplicados en suelos algo alcalinos a partir de un PH de 7 a 7.3, en este caso la concentración de nitritos en el suelo puede alcanzar magnitudes semejantes a los nitratos.

**Tabla A.5.1**

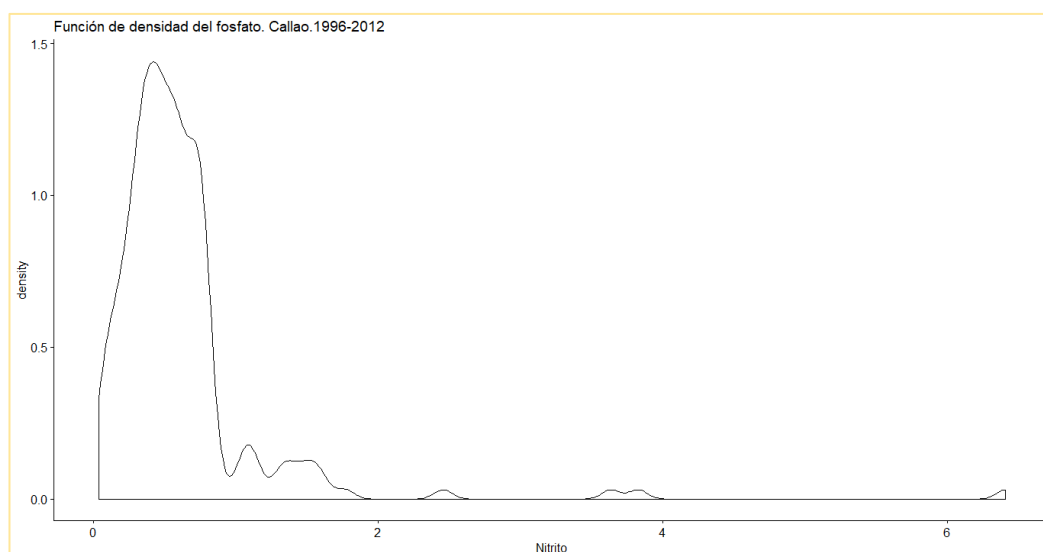
*Análisis estadístico descriptivo del **nitrito** mensual en la superficie del agua de mar frente al Callao, 1996-2012.*

Intervalo	Frecuencia absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
[0.04 - 1.32)	191	93.6	191	93.6
[1.32 - 2.60)	10	4.9	201	98.5
[2.60 - 3.88)	2	1.0	203	99.5
[3.88 - 5.16)	0	0.0	203	99.5
[5.16 - 6.44)	1	.5	204	100.0
Total	204	100.0		

*Fuente: Elaboración propia de la investigación.*

La distribución de la variable nitrito es asimétrica y se observa que el 93.6% de sus valores se encuentra en el intervalo [0.04 , 1.32).

Función de densidad de la variable nitrito y el respectivo gráfico de probabilidad normal.



**Figura 25A.** Función de densidad empírica de la variable nitrito.

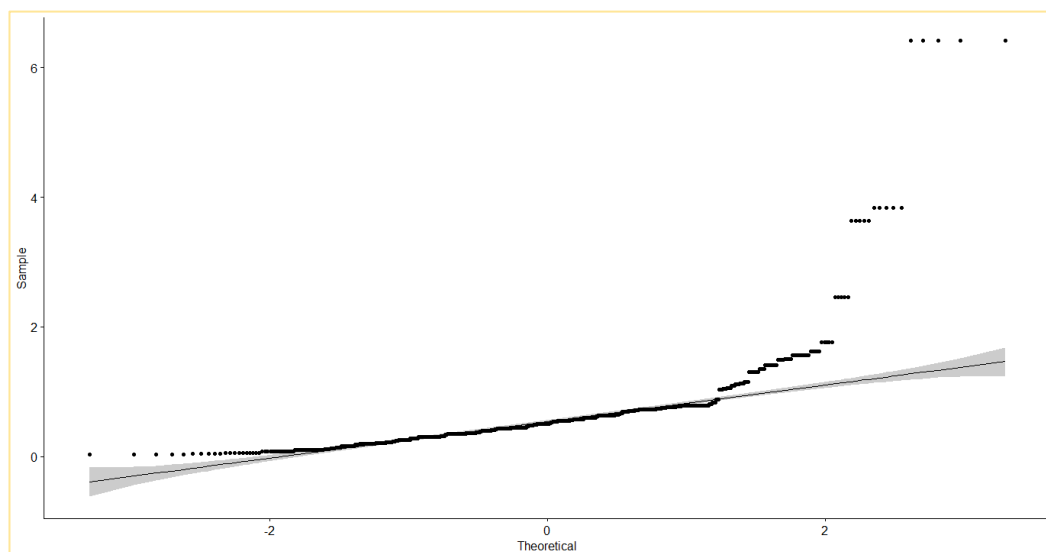


Figura 26A Q-Q plot de la variable nitrito.

Exploratoriamente, se observa que la variable nitrito no tiene distribución normal. Se presenta en la siguiente tabla la prueba confirmatoria respecto a la distribución del nitrito.

**Tabla A.5.2**

Test de Shapiro Wilk para contrastar la normalidad de la variable nitrito.

Hipótesis	Estadístico de Prueba	Criterio de Decisión
$H_0$ : La variable nitrito tiene distribución normal	$W = 0.54332$	Se rechaza la hipótesis nula si: $p\text{-valor} < 0.05$
$H_1$ : La variable nitrito no tiene distribución normal		En este test se obtiene un $p$ -valor $= 2.2e-16 < 0.05$
$\alpha = 0.05$		Por lo tanto, se rechaza $H_0$ .
<b>Conclusión:</b> El test es significativo. La variable nitrito no tiene distribución normal.		

Shapiro-Wilk normality test

data: y3\$nitri

$W = 0.54332$ ,  $p\text{-value} < 2.2e-16$



Comportamiento de la variable nitrito a través de los años 1996-2012.

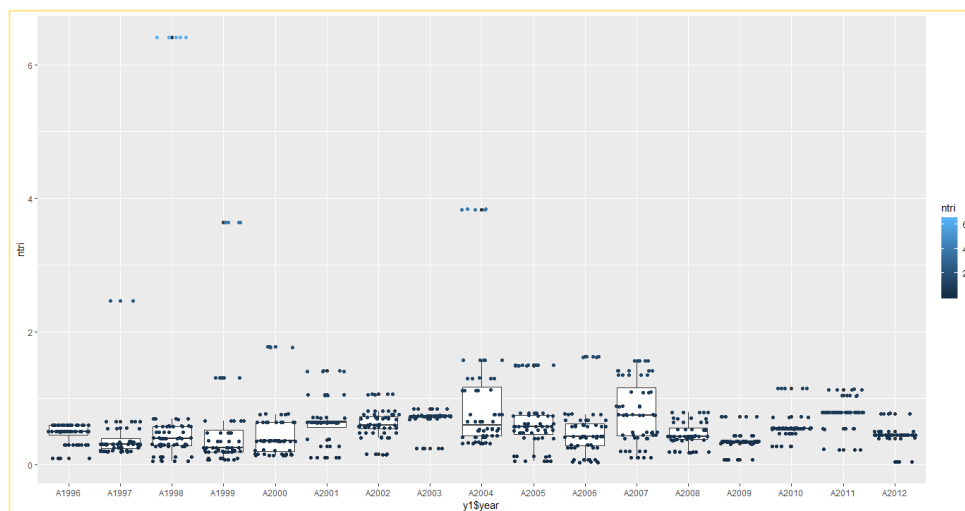


Figura 26A. Evolución anual del nitrito:1996-2012.

Comportamiento de la variable nitrito a través de los años, agrupando los años de la siguiente manera.

Grupo 1: Conformado por los años 1996-1999

Grupo 2: Conformado por los años 2000-2005

Grupo 3: Conformado por los años 2006-2012

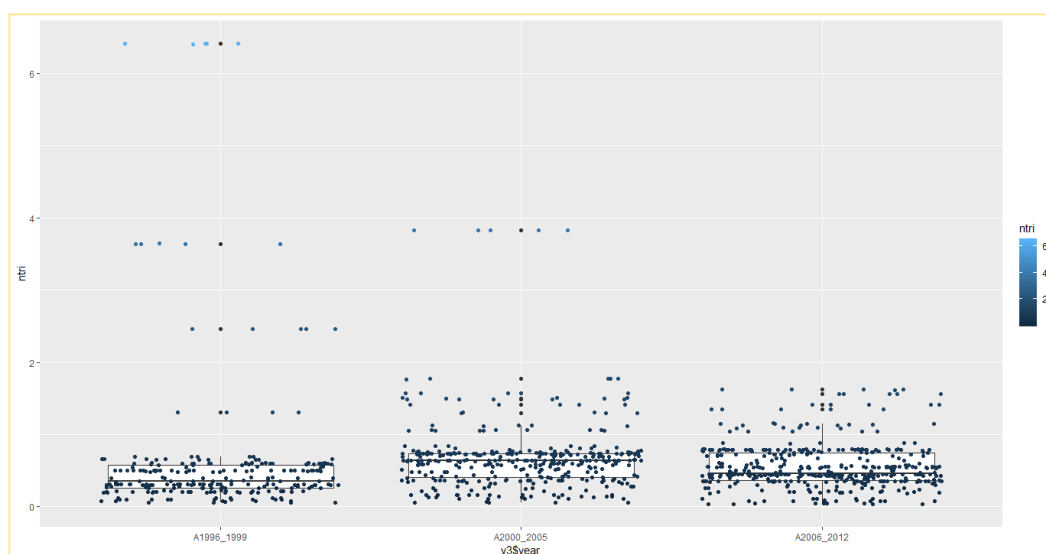


Figura A27. Evolución del nitrito por periodos de tiempo:1996-1999, 2000-2005, 2006-2012.

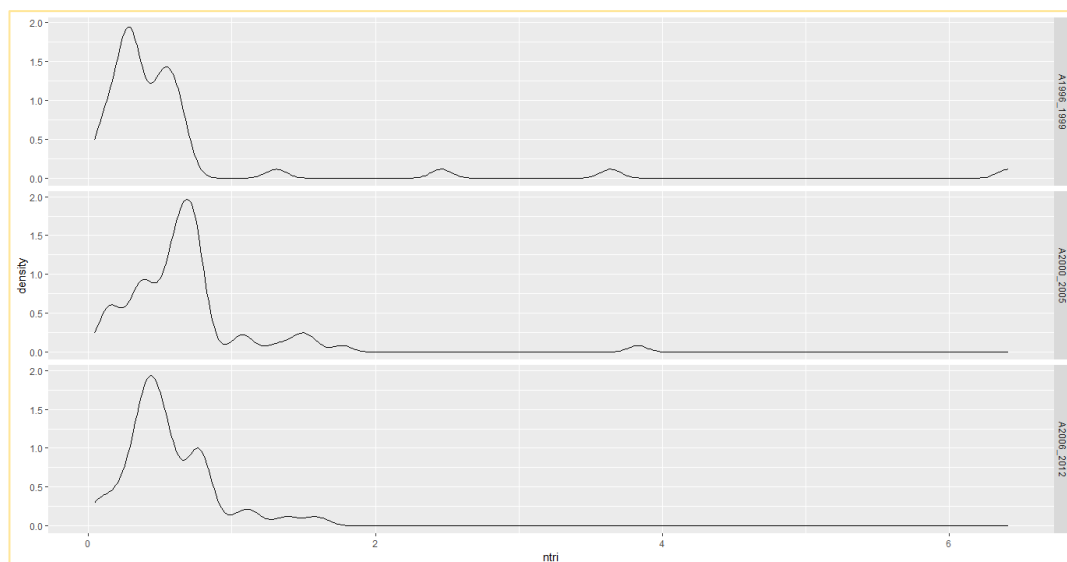


Figura A28. Función de densidad empírica del nitrato por periodos de tiempo: 1996-1999, 2000-2005, 2006-2012 .

Se realizará el análisis confirmatorio mediante el análisis de varianza no paramétrico para contrastar la igualdad de las medianas de los valores del nitrato en los tres grupos en estudio.

### Tabla A.5.3

*Test de Kruskal-Wallis para contrastar las medianas de la variable nitrato en los tres periodos en estudio.*

Hipótesis	Estadístico de Prueba	Criterio de Decisión
$H_0: M_1 = M_2 = M_3$		Se rechaza la hipótesis nula si el p-valor <
$H_1$ : Al menos una de las medianas es diferente	$K= 77.145$	0.05
$\alpha = 0.05$		En este caso el p-valor = $2.2e-16 < 0.05$ Por lo tanto, se rechaza $H_0$ .
<b>Conclusión:</b> El test es significativo. Al menos una de las medianas es diferente.		

El ANOVA, permite concluir que la mediana de los nitratos en los grupos en estudio son diferentes.

Kruskal-Wallis rank sum test

data: ntri by year

Kruskal-Wallis chi-squared = 77.145, df = 2, p-value < 2.2e-16

**Tabla A.5.4**

*Test de Wicoxon para comparar medianas por pares de periodos de tiempo: p-valor*

	A1996_1999	A2000_2005
A2000_2005	2.0e-16	-
A2006_2012	3.2e-08	0.00012

En este caso no existe evidencia que la mediana del grupo conformado por los años 2000-2005 es diferente que la mediana del grupo conformado por los años 2006-2012.

Pairwise comparisons using Wilcoxon rank sum test

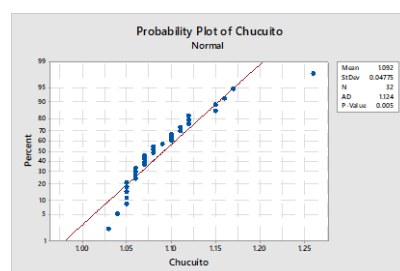
A1996\_1999 A2000\_2005

A2000\_2005 < 2e-16 -

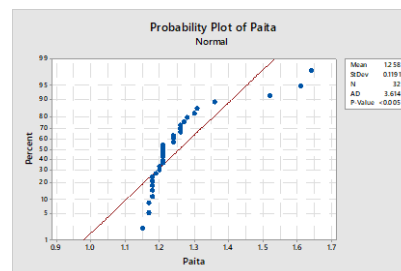
A2006\_2012 3.2e-08 0.00012

P value adjustment method: holm

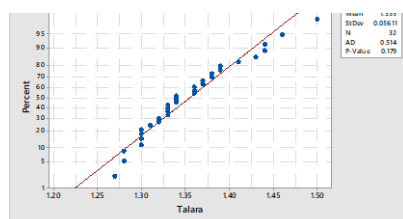
### Gráficos de Probabilidad normal



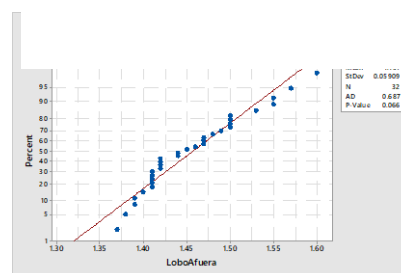
(a) Gráfico de probabilidad normal del Nivel superficial del mar de la estación de Chucuito. 1984-2015.



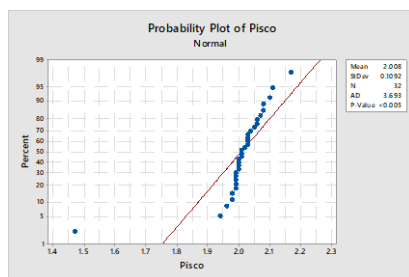
(b) Gráfico de probabilidad normal del Nivel superficial del mar de la estación de Paíta. 1984-2015.



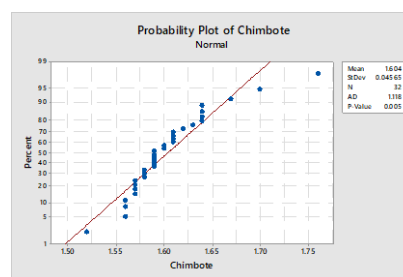
(c) Gráfico de probabilidad normal del Nivel superficial del mar de la estación de Talara. 1984-2015.



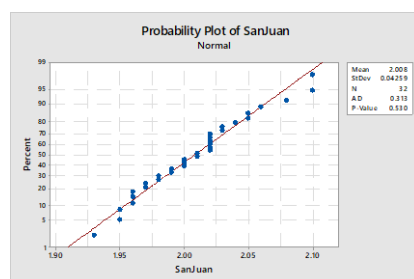
(d) Gráfico de probabilidad normal del Nivel superficial del mar de Lobos de Afuera. 1984-2015.



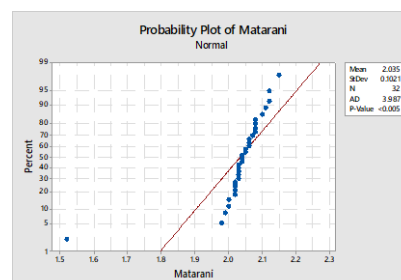
(e) Gráfico de probabilidad normal del Nivel superficial del mar de la estación de Pisco. 1984-2015.



(f) Gráfico de probabilidad normal del Nivel superficial del mar de la estación de Chimbote. 1984-2015.



(g) Gráfico de probabilidad normal del Nivel superficial del mar de la estación de San Juan. 1984-2015.



(h) Gráfico de probabilidad normal del Nivel superficial del mar de la estación de Matarani. 1984-2015.

## A6. Análisis de correspondencia de las categorías de la variable fosfato y los trimestres del año.

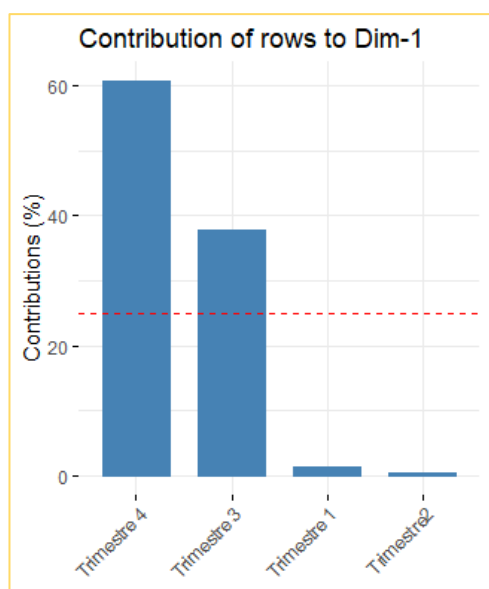


Figura 26A. Contribución de los trimestres del año a la dimensión 1.

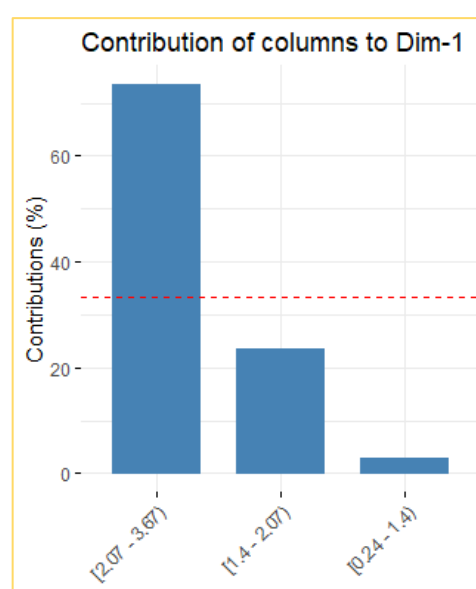


Figura 27A. Contribución de la variable fosfato recodificada a la dimensión 1.

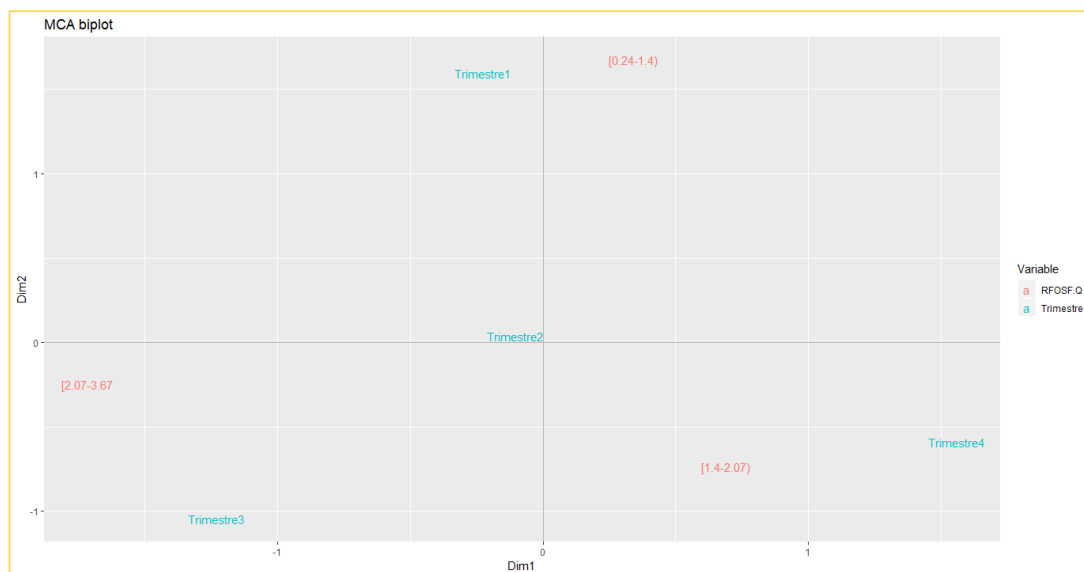


Figura 28A. Biplot: Visualización de la correspondencia entre las categorías de la variable fosfato y los trimestres del año.

En la Figura 28A, puede observarse una correspondencia entre los valores del fosfato de [0.24-1.4) y el primer trimestre del año.

A7 Análisis de correspondencia de las categorías de la variable **silicato** y los trimestres del año.

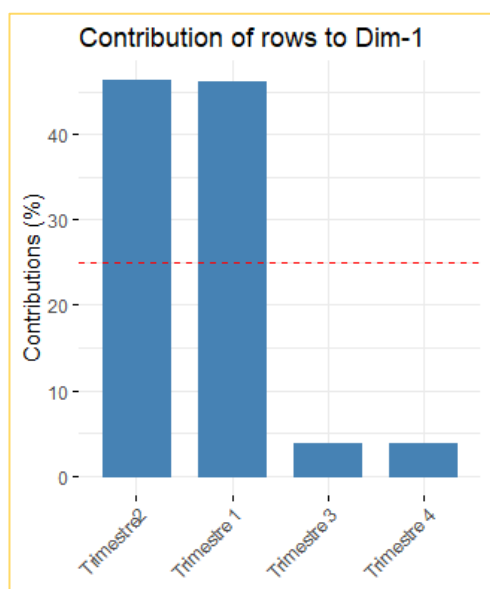


Figura 29A. Contribución de los trimestres del año a la dimensión 1.

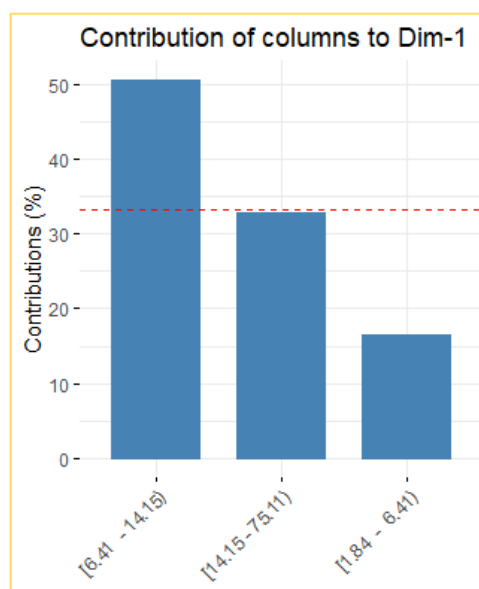


Figura 30A. Contribución de las categorías de la variable silicato a la dimensión 1.

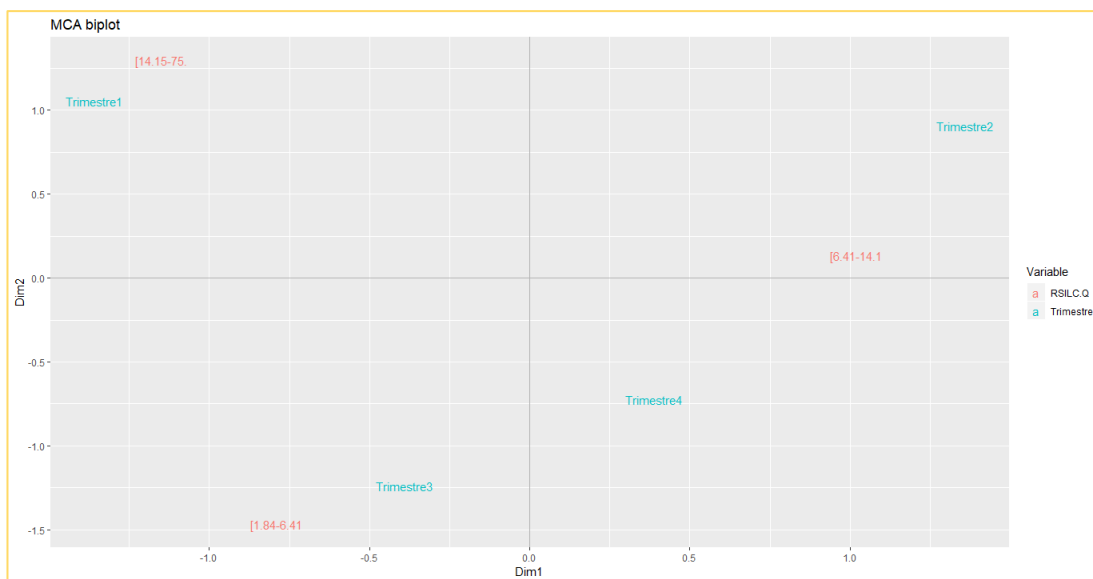


Figura 31A. Mapa perceptual: Visualización de los trimestres del año.

En la Figura 31A, puede observarse una correspondencia entre los valores de los silicatos de [14.15-75] y el primer trimestre del año.

#### A8. Análisis de correspondencia de las categorías de la variable nitrato y los trimestres del año.

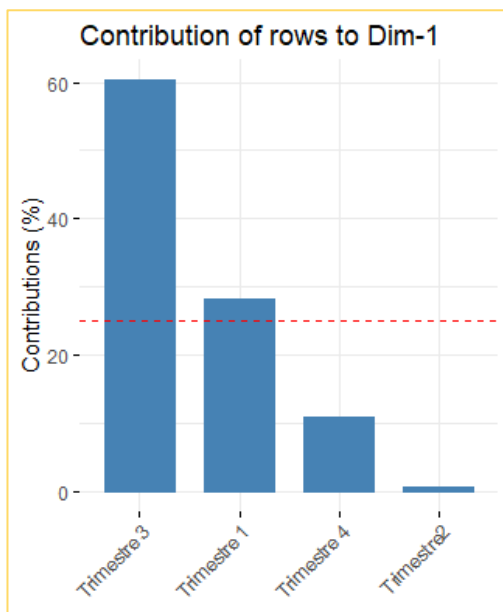


Figura 32A. Contribución de los trimestres del año a la dimensión 1.

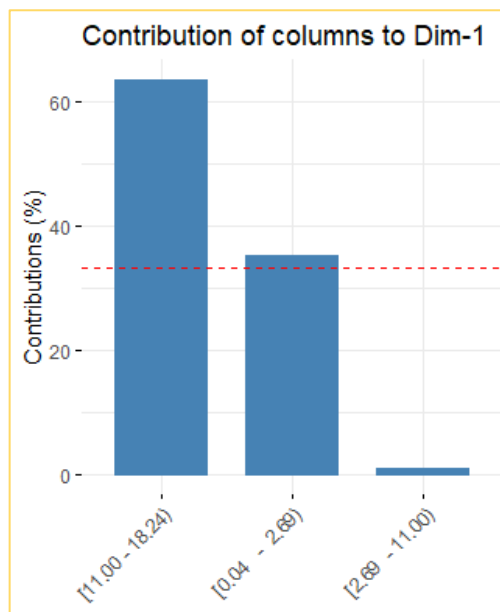


Figura33A. Contribución de las categorías de la variable nitrato a la dimensión 1.

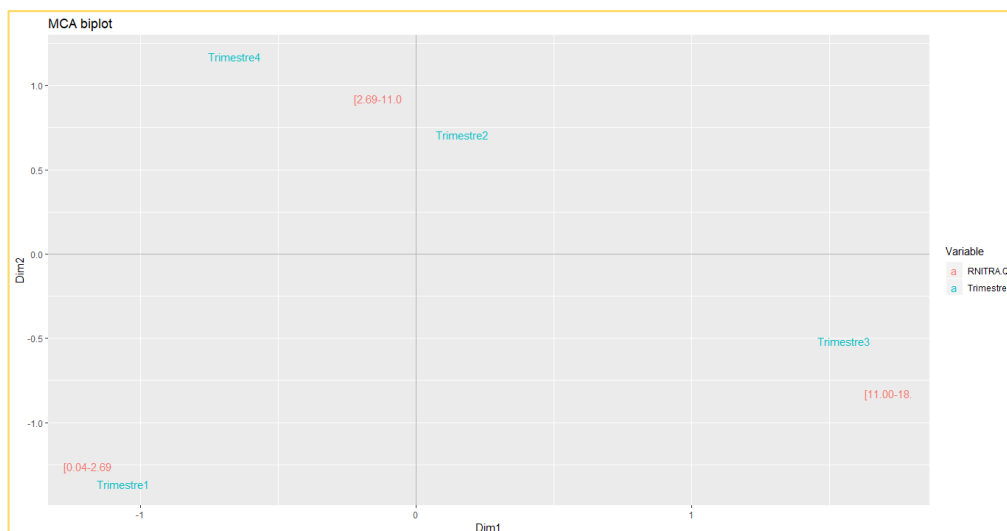


Figura 34A. Biplot: Visualización de la correspondencia entre las categorías de la variable nitrato y los trimestres del año.

En la Figura 34A, puede observarse una correspondencia entre los valores de los silicatos de [0.024-2.69] y el primer trimestre del año.

#### A8 Análisis de correspondencia de las categorías de la variable nitrato y los trimestres del año.

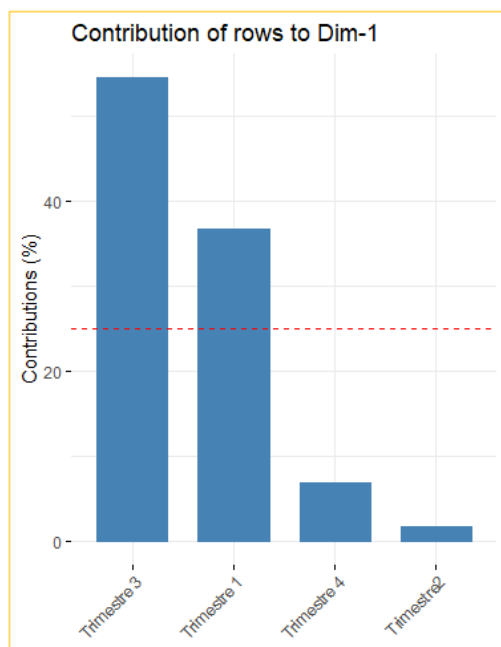


Figura 35A. Contribución de los trimestres del año a la dimensión 1.

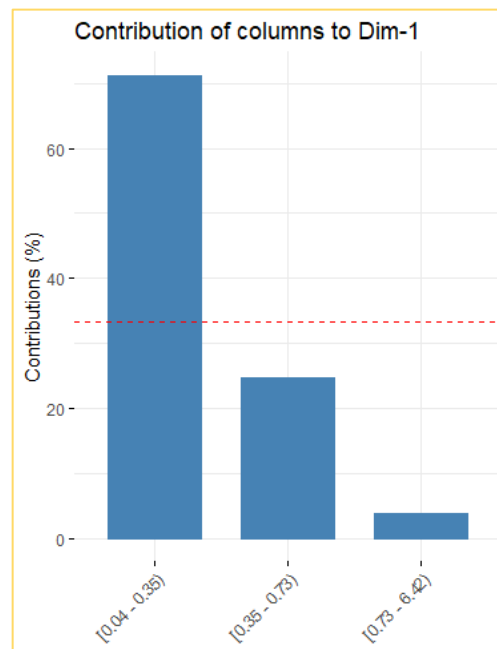


Figura 36A. Contribución de las categorías de la variable nitrato a la dimensión 1.

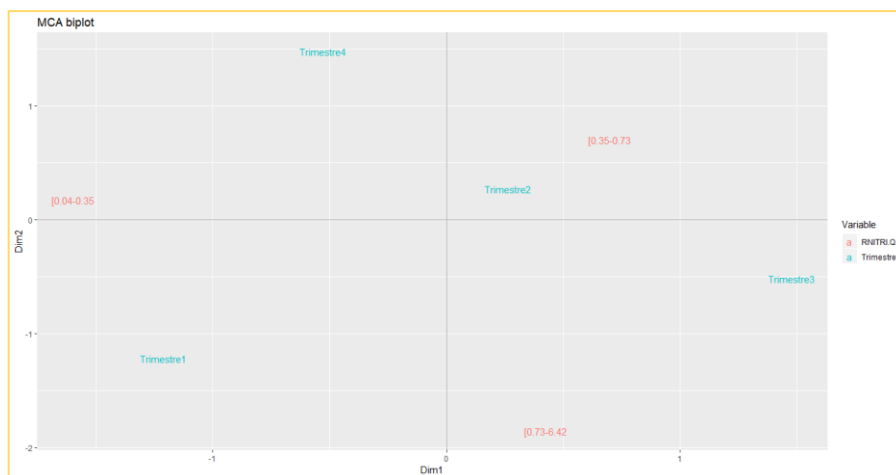


Figura 37A. Biplot: Visualización de la correspondencia entre las categorías de la variable nitrito y los trimestres del año.

En la figura 78, no se evidencia una correspondencia clara entre los valores de las categorías de los nitritos y los trimestres del año.

#### A9 Análisis conjunto de la temperatura y salinidad en las líneas de monitoreo en estudio: Callao, Chicama, Chimbote, P. Falsa, Paíta y San Juan.

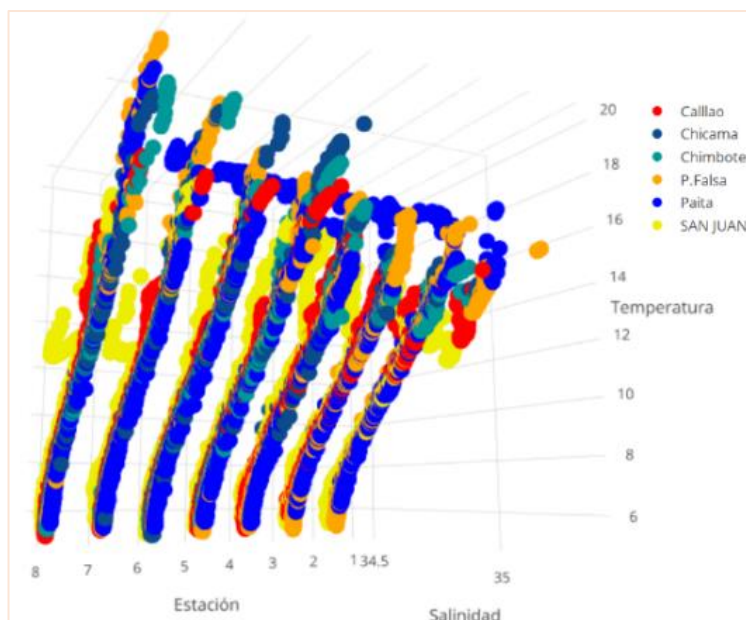


Figura 38A. Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo a las estaciones de muestreo según las líneas de monitoreo: Callao, Chicama, Chimbote, P. Falsa, Paíta y San Juan.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/ESTACION1%20TEM%20SALINI.html>



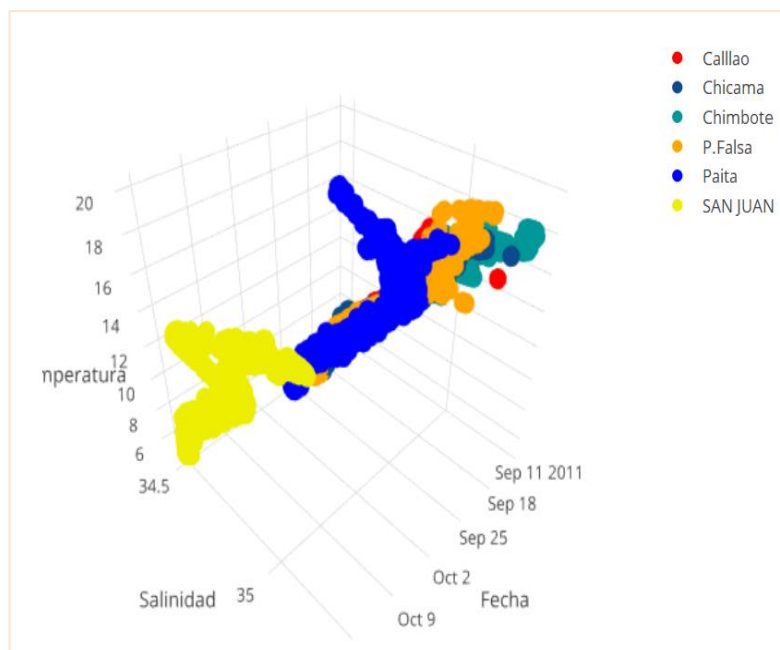


Figura 39A. Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo a la fecha de muestreo según las líneas de monitoreo: Callao, Chicama, Chimbote, P. Falsa, Paíta y San Juan.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/FECHA%20TEM%20SALINI.html>

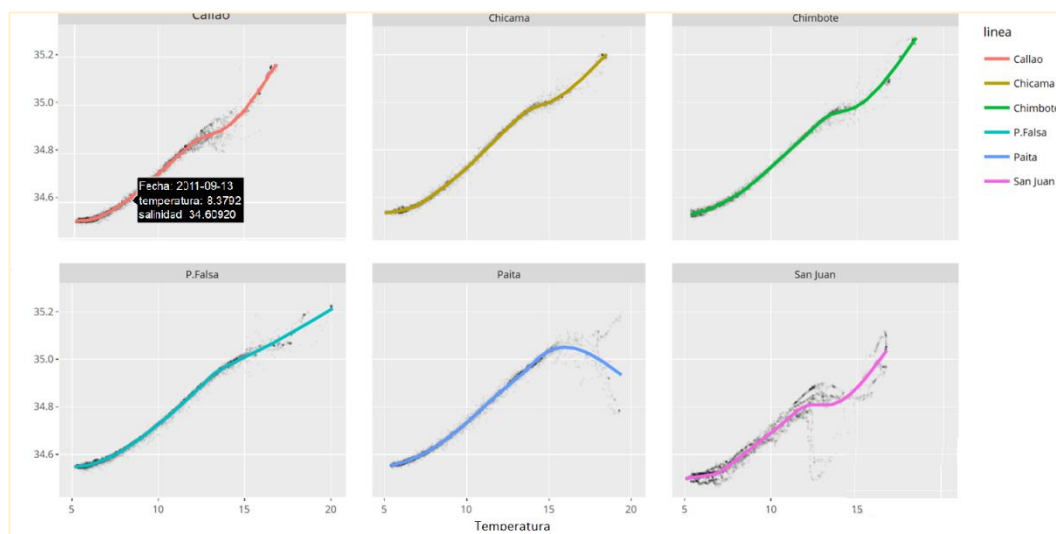
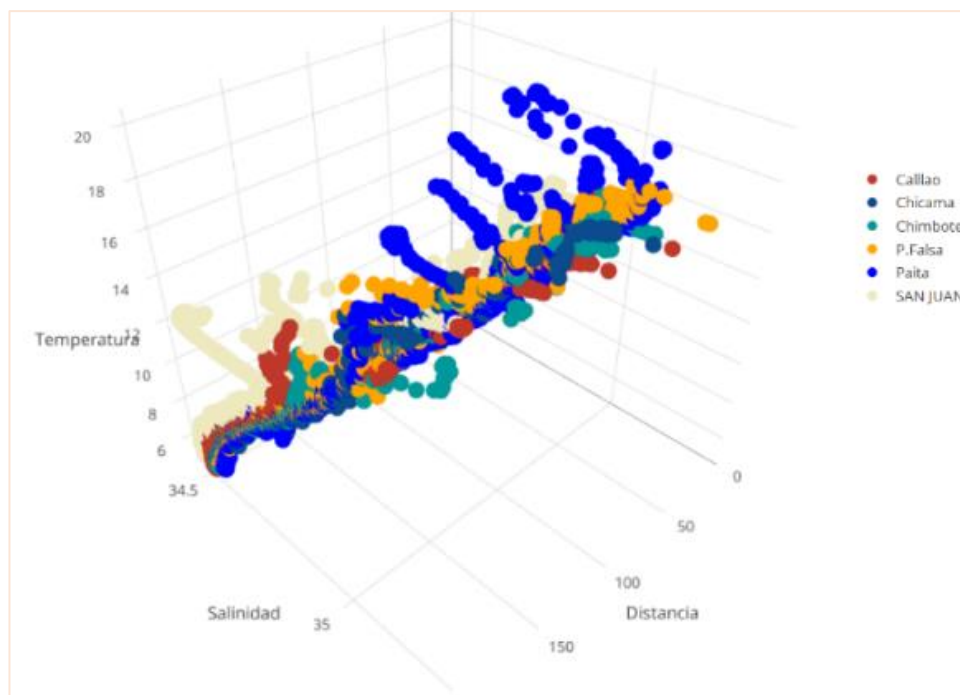


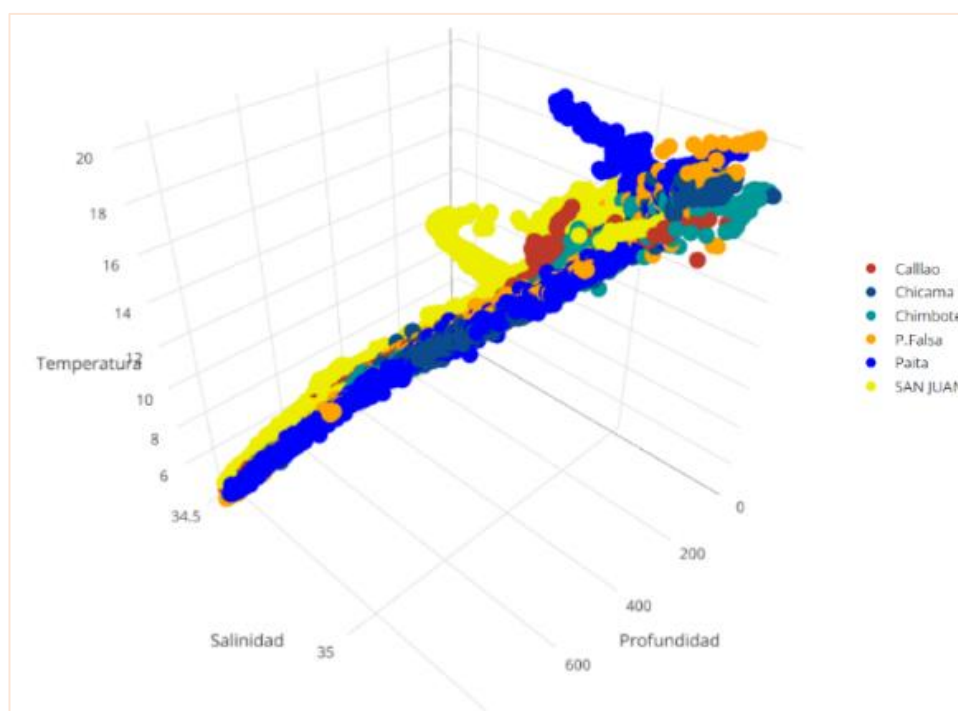
Figura 40A. Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo las líneas de monitoreo: Callao, Chicama, Chimbote, P. Falsa, Paíta y San Juan.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/FECHA%20TEM%20SALINI%2031DIC.html>



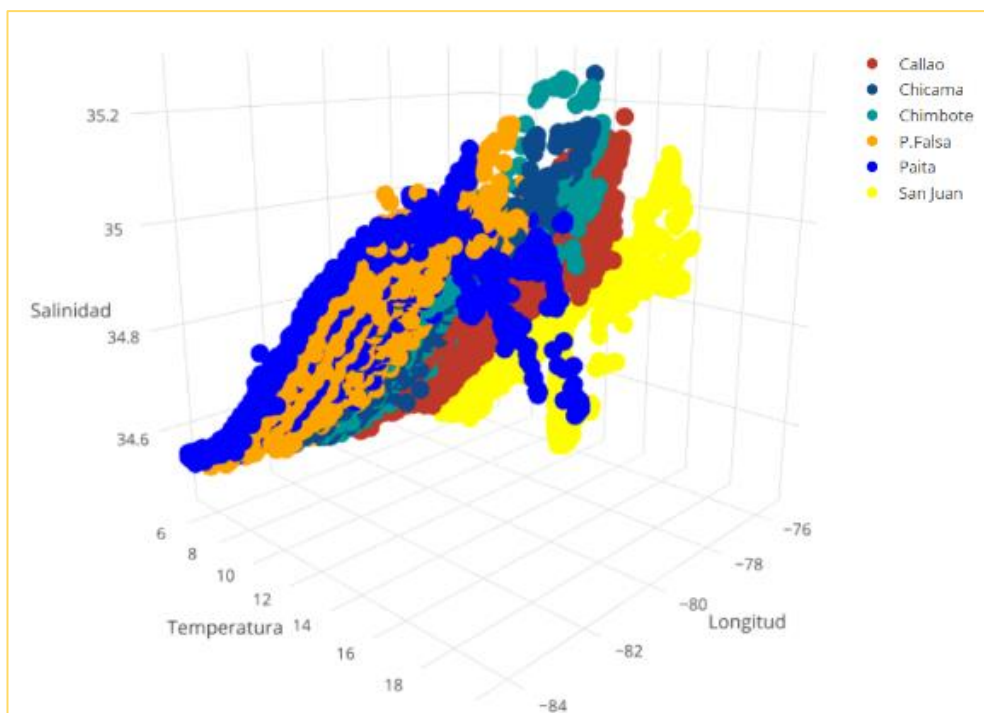
*Figura 41A* Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo la distancia de medición en la líneas de Callao, Chicama, Chimbote, Punta Falsa, Paíta y San Juan.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/DISTANCIA%20TEM%20SALINI.html>



*Figura 42A.* Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo la profundidad de medición en la líneas de Callao, Chicama, Chimbote, Punta Falsa, Paíta y San Juan.

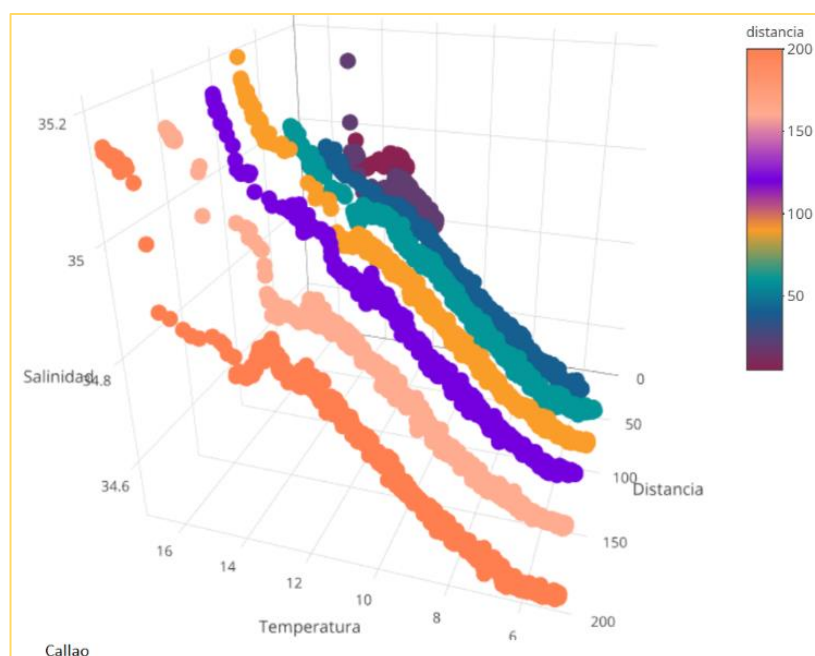
<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/PROFUNDIDAD%20TEM%20SALINI.html>



*Figura 43A* . Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo la longitud de medición en la líneas de Callao, Chicama, Chimbote, Punta Falsa, Paíta y San Juan.

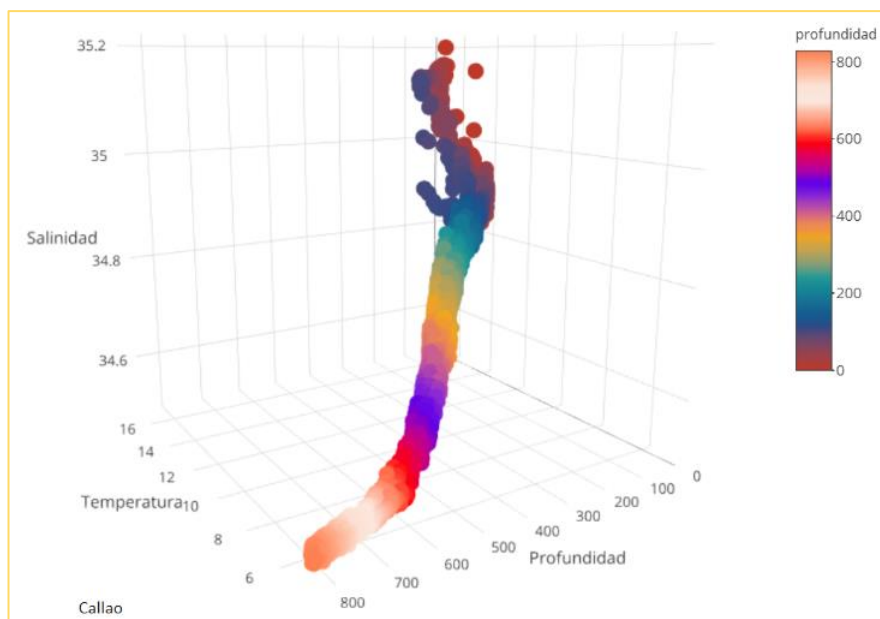
<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/LONGITUD%20TEM%20SALINI.html>

#### A10 Análisis conjunto de la temperatura y salinidad: Callao



*Figura 44A*. Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo la longitud de medición en el Callao.

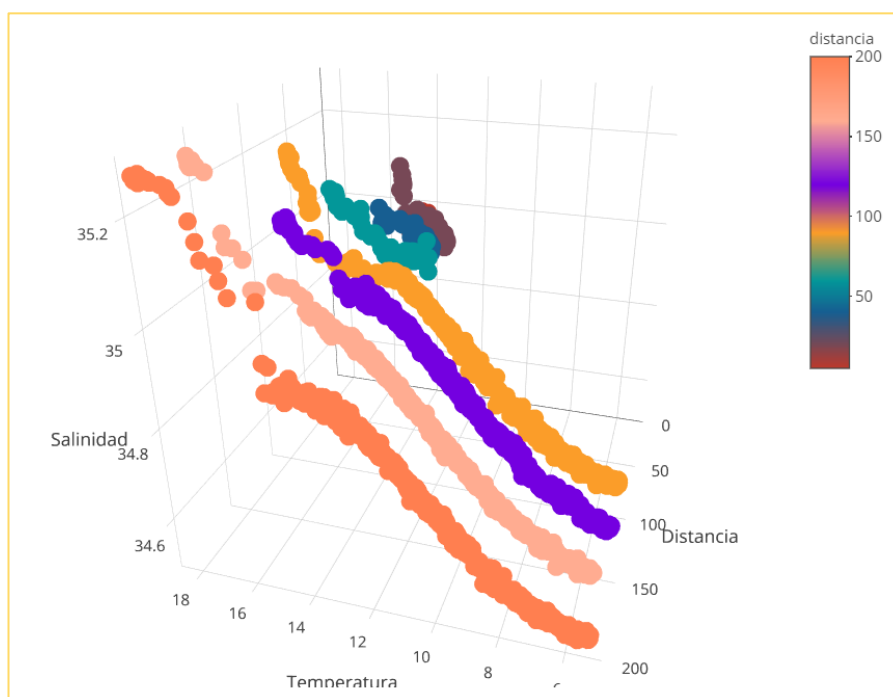
<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/DISTANCIATEMSALCALLAO.html>



*Figura 45A.* Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo la profundidad de medición en el Callao.

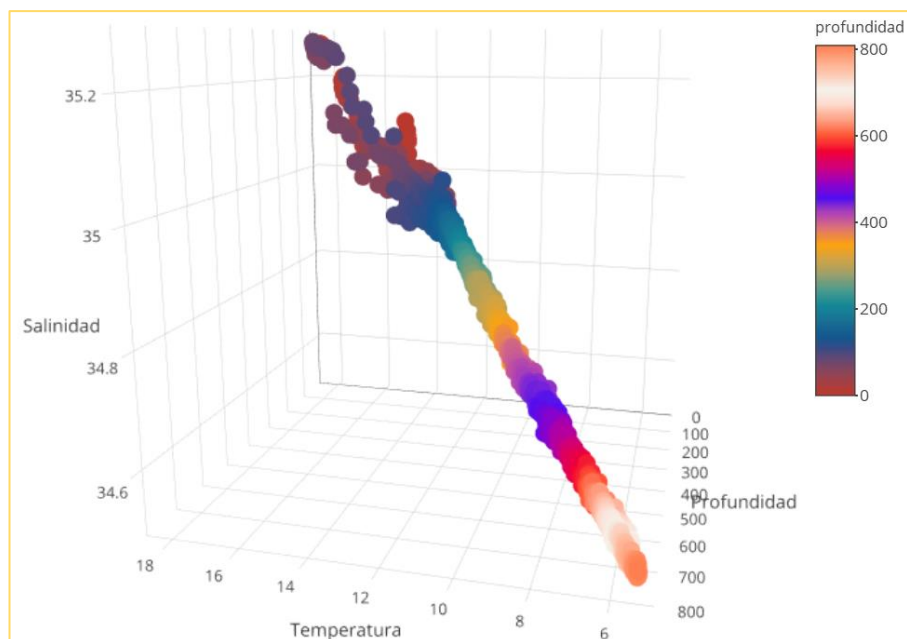
<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/PROFUNDIDADTEMSALCALLAO.html>

### A11 Análisis conjunto de la temperatura y salinidad: Chimbote



*Figura 46A.* Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo la distancia de medición en Chimbote.

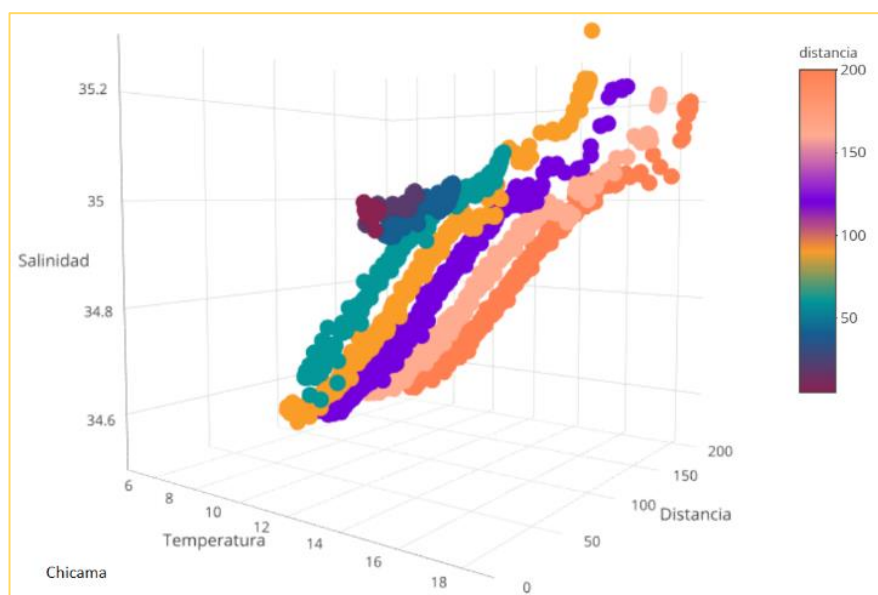
<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/DISTANCIATEMSALCHIMBOTE.html>



*Figura 47A* Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo la profundidad de medición en Chimbote.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/PROFUNDIDADTEMSALCHIMBOTE.html>

### A12 Análisis conjunto de la temperatura y salinidad: Chicama



*Figura 48A.* Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo la distancia de medición en Chicama.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/DISTANCIATEMSALCHICAMA.html>

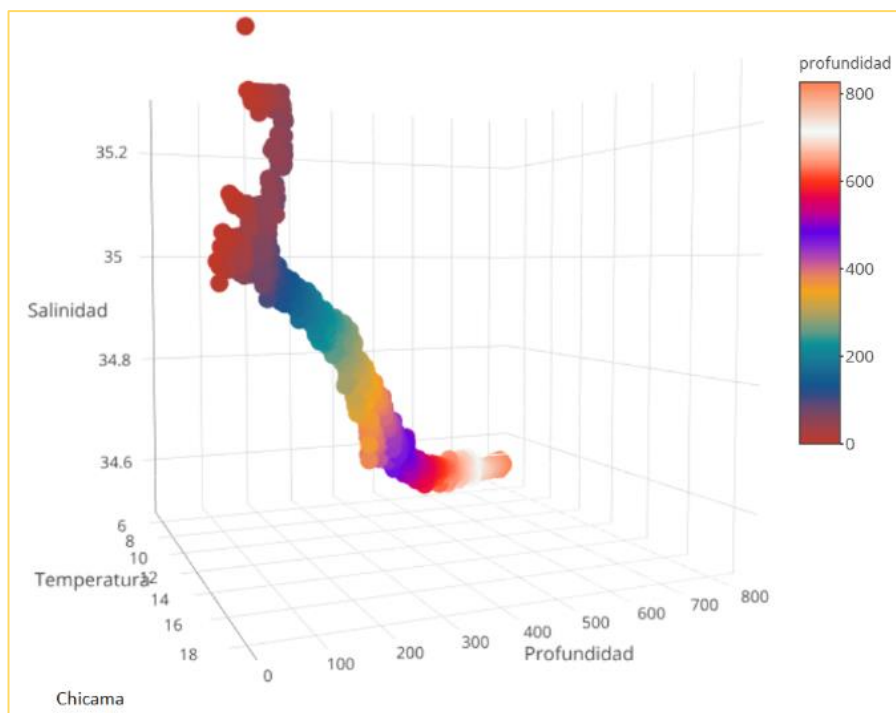


Figura 49A. Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo la profundidad de medición en Chicama.  
<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/PROFUNDIDATEMPSALCHICAMA.html>

### A13 Análisis conjunto de la temperatura y salinidad: Punta Falsa

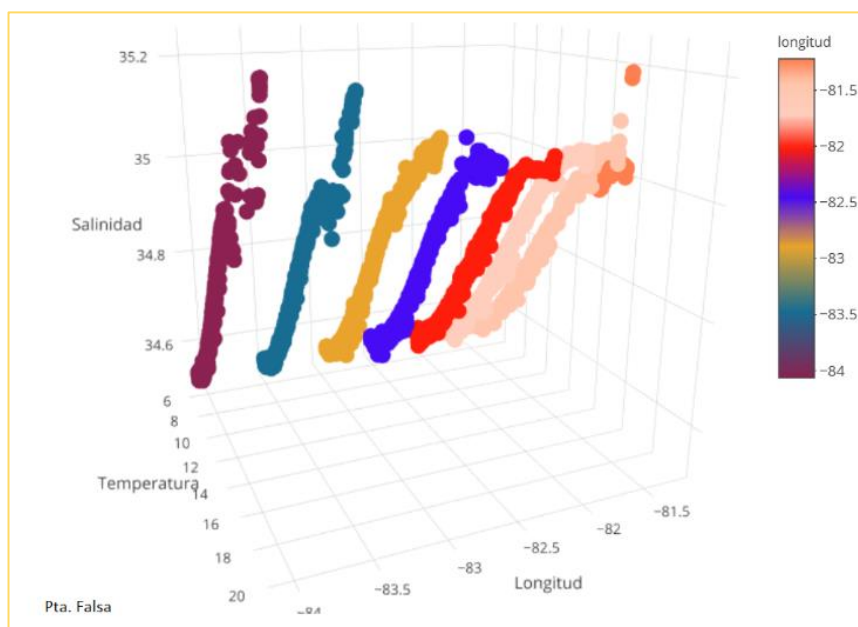
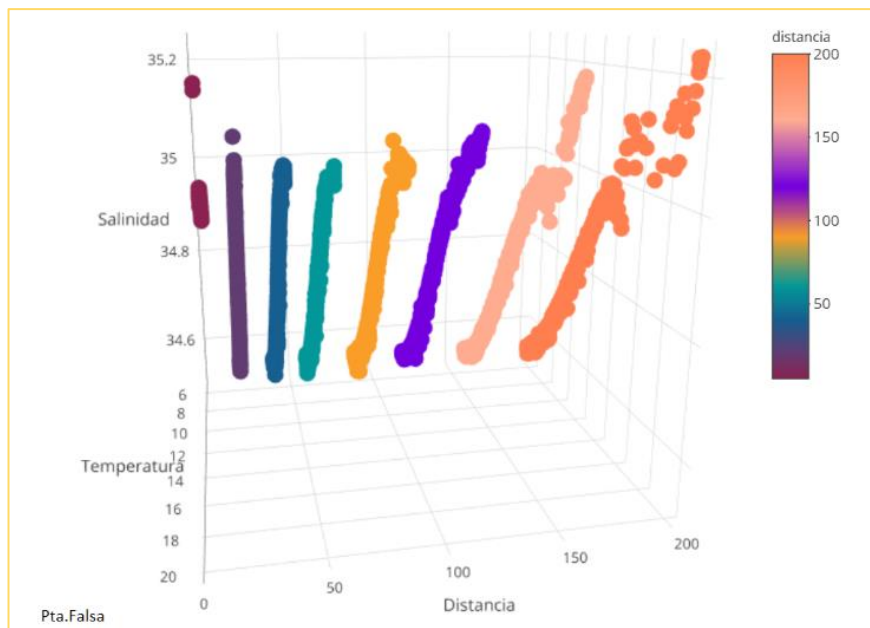


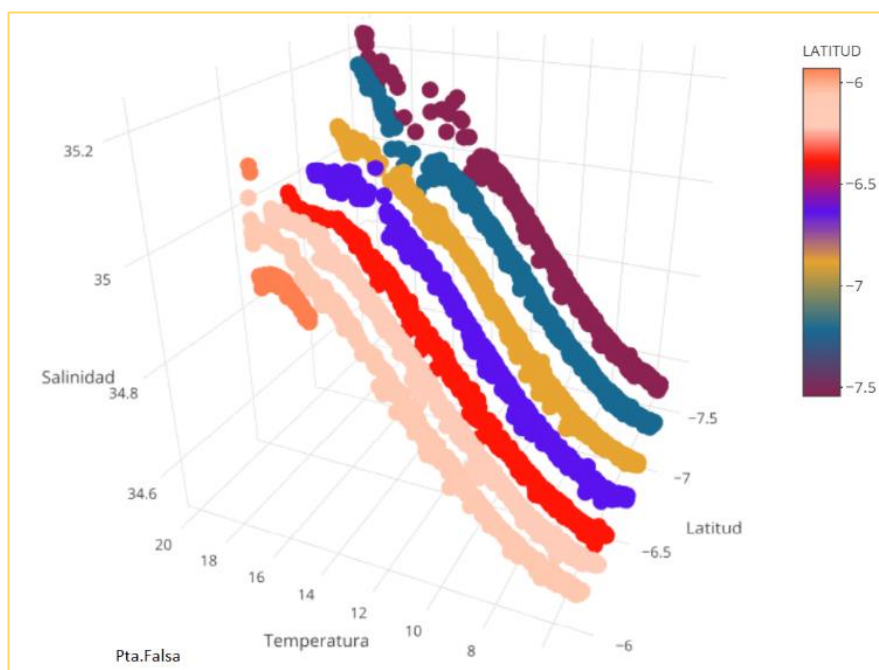
Figura 50A. Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo la longitud de medición en Punta Falsa.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/LONGTEMPPSALIPTAFALSA.html>



*Figura 51A.* Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo la distancia de medición en Punta Falsa.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/DISTANCIATEMSALPTAFALSA.html>



*Figura 52A.* Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo la latitud en Punta Falsa.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/LATITUDTEMSALPTAFALSA.html>

### A14 Análisis conjunto de la temperatura y salinidad: Paita

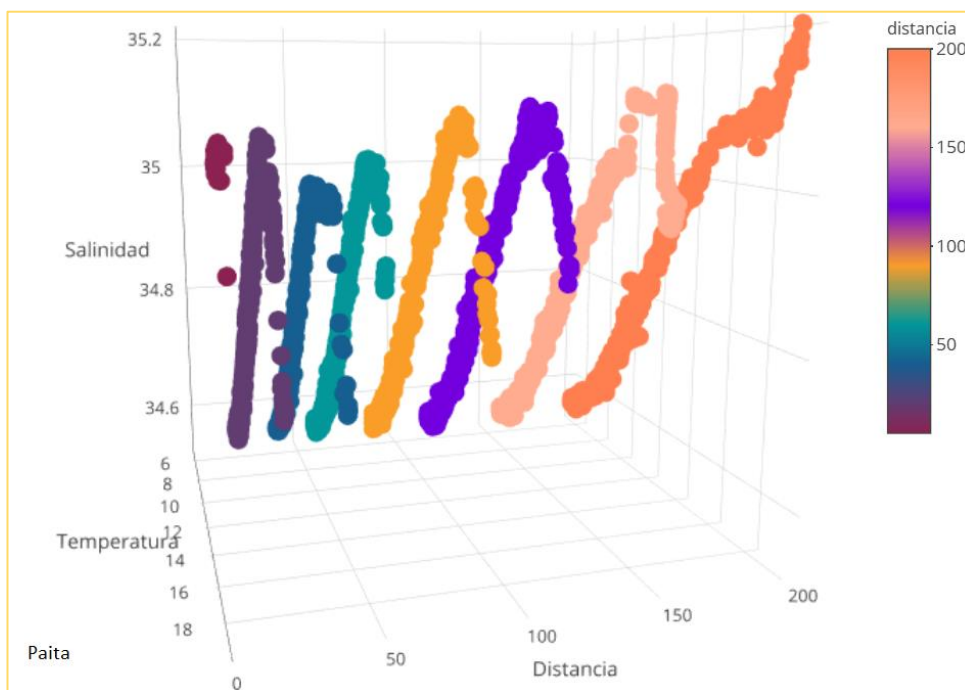


Figura 53A. Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo con la distancia en Paita.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/DISTANCIATEMSALPAITA.html>

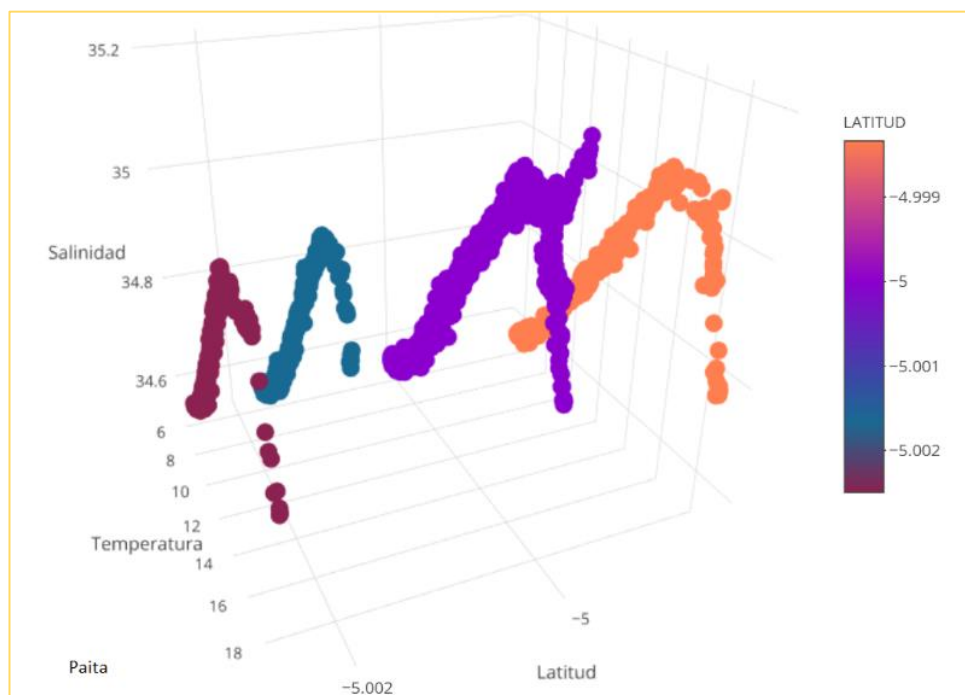


Figura 54A. Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo con la latitud en Paita.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/LATITUDTEMSALPAITA.html>



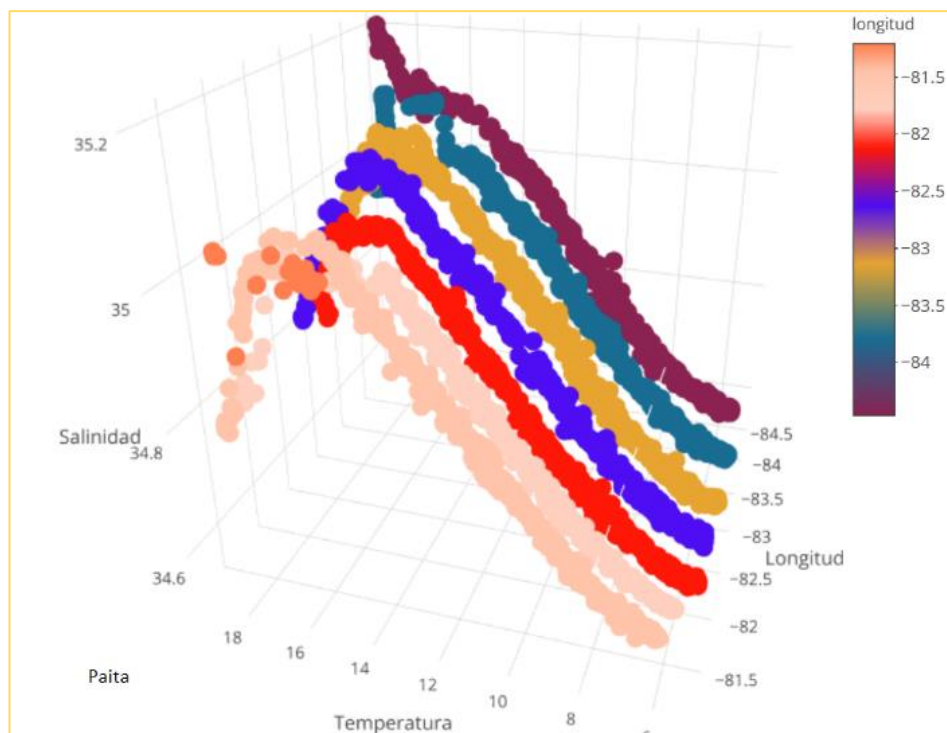


Figura 55A. Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo con la longitud en Paita.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/LONGTEMPSALIPAITA.html>

### A15 Análisis conjunto de la temperatura y salinidad: San Juan

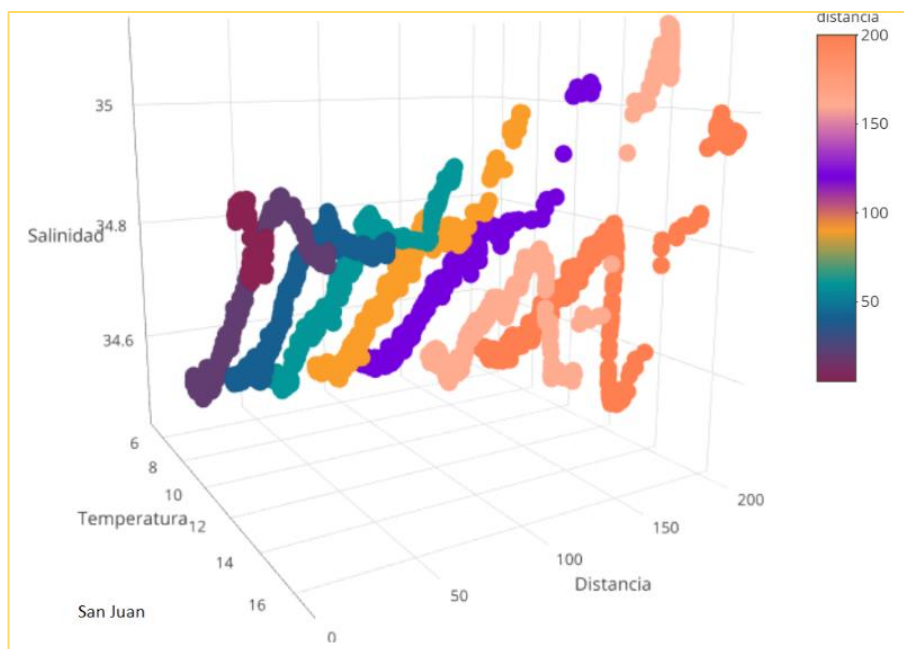
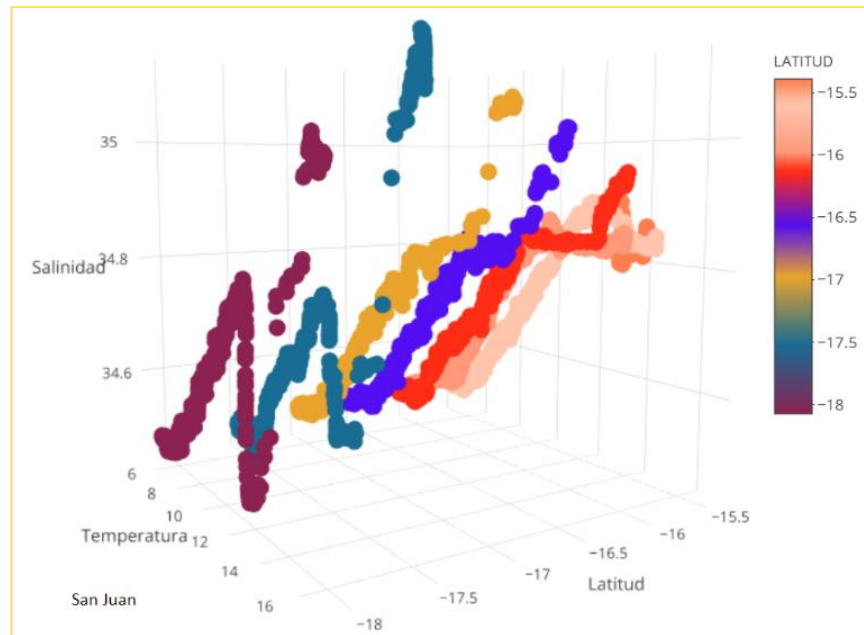


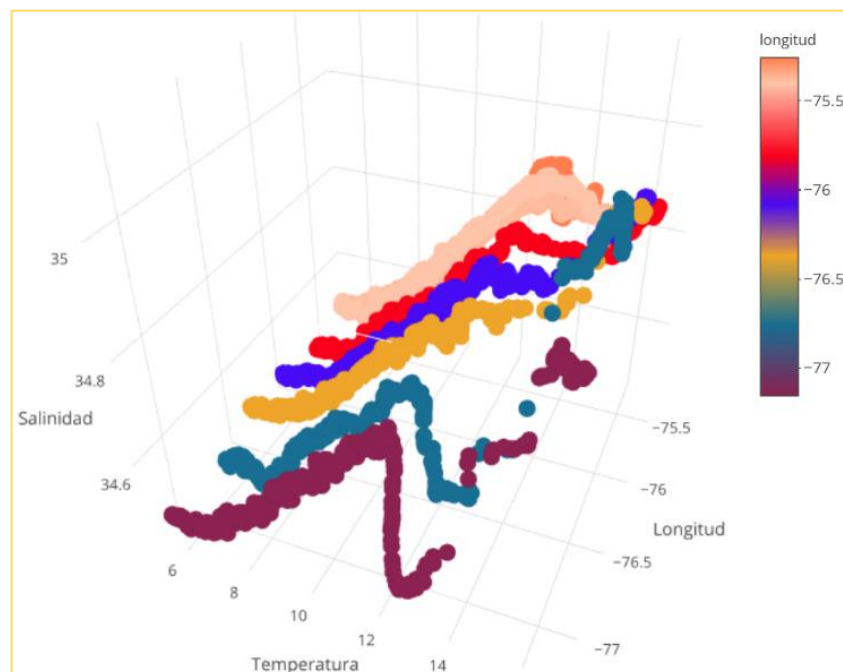
Figura 56A. Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo con la distancia en San Juan.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/DISTANCIATEMSALSANJUAN.html>



*Figura 57A.* Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo con la latitud en San Juan.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/LATITUDEMSALSANJUAN.html>



*Figura 58A.* Distribución conjunta de la temperatura y salinidad de acuerdo con la longitud en San Juan.

<file:///D:/00TESIS.DOCTORADO.2017.2018/GRAFICOS%20R%2011NOV2018/LONGTEMPSPALISANJUAN.html>

**ANEXO B**

## Matriz de consistencia

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS	FUENTE DE RECOLECCIÓN
<p>“Caracterización de la calidad del medio marino costero peruano mediante indicadores multivariantes”</p>	<p>¿Cómo se construye la caracterización holística de la calidad del medio marino costero peruano haciendo uso de los métodos estadísticos multivariantes?</p> <p><b>Problemas específicos</b></p> <p>1¿Como se crearán las bases de datos de las variables más importantes asociadas a la calidad del medio marino costero peruano?</p> <p>2¿A través del análisis exploratorio de datos, se descubrirá patrones de comportamiento de las variables asociadas a la calidad del medio marino costero peruano?</p> <p>3¿La aplicación de métodos estadísticos multivariantes, permitirán</p>	<p>Objetivo general: En el contexto de la Evaluación de Desempeño Ambiental del Perú, así como de los Objetivos de Desarrollo Sostenible hacia el 2030, la presente investigación pretende caracterizar holísticamente la calidad del medio marino peruano mediante indicadores construidos usando métodos estadísticos multivariantes bajo un enfoque integrador.</p> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <p>1.Generar bases de datos de las principales variables asociadas a la calidad del medio marino costero peruano.</p> <p>2.Descubrir patrones de comportamiento de las variables asociadas a la calidad del medio marino costero peruano, mediante el análisis</p>	<p>En este contexto, la presente investigación conducirá a la caracterización holística de la calidad del medio marino peruano, se construye mediante indicadores obtenidos con métodos estadísticos multivariantes.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>1.Las bases de datos construidas para el análisis estadístico multivariante contienen la información más relevante de las variables asociadas a la calidad del medio marino costero peruano.</p> <p>2.El análisis exploratorio de datos, descubre los</p>	<p>La investigación es de tipo científica aplicada. En este contexto se utilizará referentes metodológicos y teóricos relacionados a las ciencias del mar y la estadística multivariante. El diseño de la investigación es de tipo observacional, exploratoria, descriptiva e inferencial.</p>	<p>La información muestral considerada en el estudio está constituida por cada una de las estaciones fijas en las cuales IMARPE y la Marina de Guerra del Perú realizan evaluaciones sistemáticas a través del registro de los parámetros oceanográficos mediante el recojo de muestras, lo cual constituye un historial de monitoreo que permitirá la realización del análisis multivariante haciendo uso de software estadístico.</p>	<p>Fuentes secundarias: Registro de los parámetros oceanográficos en boletines e informes de IMARPE y de la Marina de Guerra del Perú.</p>

	<p>obtener indicadores asociados a la calidad del medio marino costero peruano?</p>	<p>exploratorio de datos. 3.Construir indicadores asociados a la calidad del medio marino costero peruano mediante métodos estadísticos multivariantes.</p>	<p>patrones de comportamiento de los datos asociados a la calidad del medio marino costero peruano. 3.Los métodos estadísticos multivariantes, permiten la construcción de indicadores de la calidad del medio marino costero peruano.</p>			
--	---	---	--	--	--	--

**ANEXO C**

## ANEXO C. PRINCIPALES LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN DE IMARPE QUE FUNCIONAN EN EL LITORAL PERUANO

### i. Laboratorio costero de Tumbes.

El Laboratorio descentralizado de Tumbes se encuentra ubicado en el Centro Poblado de Nueva Esperanza, a la altura del km 1249 de la carretera Panamericana Norte, en la intersección de las calles José Olaya y Francisco Bolognesi. Pertenece a la jurisdicción geográfica y política de la Provincia de Contralmirante Villar, Región Tumbes, ubicada en el extremo norte de Perú.



Figura c1. Ubicación laboratorio costero IMARPE-Tumbes. Fuente: IMARPE

En este Laboratorio se realizan estudios orientados a generar conocimientos relacionados al manejo sustentable de los recursos pesqueros, especialmente de aquellos predominantes en el ámbito regional; incrementar el conocimiento de los principales aspectos reproductivos de las especies de importancia comercial para sustentar medidas de ordenamiento pesquero para su racional explotación. Realizan determinaciones de la variabilidad temporal, a través de monitoreo diario, de algunos parámetros meteorológicos oceanográficos en la franja intermareal de la estación fija de Nueva Esperanza mediante el registro diario de la temperatura superficial del mar y del aire, oxígeno disuelto, pH, salinidad, nutrientes, coliformes totales y termotolerantes (fecales), detección de *Escherichia coli*, así como muestras de

fitoplancton. Analizan la presencia de aguas indicadoras de alteraciones oceanográficas y climáticas como las ondas Kelvin y del Evento El Niño.

## ii. Laboratorio costero de Paita

Corresponde a la Sede Regional de Piura que se localiza en la ciudad de Paita, e inicia su funcionamiento el 20 de Enero de 1975. Complementariamente, se realiza el monitoreo de las condiciones oceanográficas de la zona de Paita y Sechura, considerada de alta variabilidad, las cuales afectan de manera directa la distribución y abundancia de los recursos, especialmente los bento-demersales.



Figura c2. Ubicación laboratorio costero IMARPE-Paita Fuente: IMARPE.

En este laboratorio se realiza el monitoreo diario de la temperatura y salinidad de la superficie del mar (Estación costera de Paita), el registro de datos oceanográficos para contribuir a la detección temprana de la presencia de eventos El Niño-La Niña y un mejor conocimiento de la variabilidad ambiental y su relación con la biota marina. El seguimiento de parámetros biológico-pesqueros y estadísticas de desembarques de las principales pesquerías, la determinación de los principales parámetros biológico-pesqueros asociados a factores oceanográficos. Se estudia la variabilidad temporal del pH del agua del mar y su influencia en las especies, con el objetivo de determinar la posible acidificación del agua de la zona como consecuencia del incremento del CO<sub>2</sub> a consecuencia del cambio climático global.



### iii. Laboratorio costero de Santa Rosa.

La Sede Descentralizada en el Departamento de Lambayeque del Instituto del Mar del Perú, inicia sus actividades en 1991, en la caleta San José, teniendo como centro de labores un local ubicado dentro del Terminal Pesquero de propiedad de Pesca Perú. La labor iniciada en San José estaba enmarcada solo a la toma de información básica de las pesquerías que allí se desarrollaban. En 1995 se inician los muestreos biológicos y seguimiento de la pesquerías de todo el Departamento de Lambayeque, cuyos centros de registro de información son: caleta San José, puerto Pimentel y la caleta Santa Rosa.

A partir de enero del 2000, inicia una nueva etapa del IMARPE en esta región, teniendo ya un local propio construido sobre un terreno urbano de 2000 m<sup>2</sup> donado por la Municipalidad Distrital de Santa Rosa, el mismo que se encuentra ubicado en el lado Nor-oeste de la Urbanización 28 de Julio, de este Distrito.



Figura c3. Ubicación laboratorio costero IMARPE-Sta. Rosa. Fuente: IMARPE.

En este laboratorio se determina y cuantifica las especies marinas varadas con la finalidad de establecer posibles causas de mortandad. Se registra y analiza los datos bio-oceanográficos en la zona intermareal y submareal del litoral de Lambayeque con el objetivo de determinar el nivel actual y su evolución temporal, del impacto de actividad antrópica sobre las comunidades marinas, sedimentos y columnas de agua.

Contribuyen con datos oceanográficos y biológicos para un mejor conocimiento de la variabilidad ambiental y su relación con la biota marina de esta región.

#### iv. Laboratorio costero de Huanchaco.

El IMARPE tomó posesión, mediante Convenio con el Gobierno regional de La Libertad, del local que se convertiría luego en sede de su Laboratorio Descentralizado de Huanchaco, el 15 de setiembre del 2008, ubicado en Colon, Huanchaco. Se fijó como objetivo general proporcionar a las instituciones regionales competentes las bases científicas y técnicas en forma veraz y oportuna, a fin de contribuir al aprovechamiento racional de los recursos hidrobiológicos y a la salud del medio ambiente acuático, y por ende al desarrollo socio económico de la Región La Libertad.

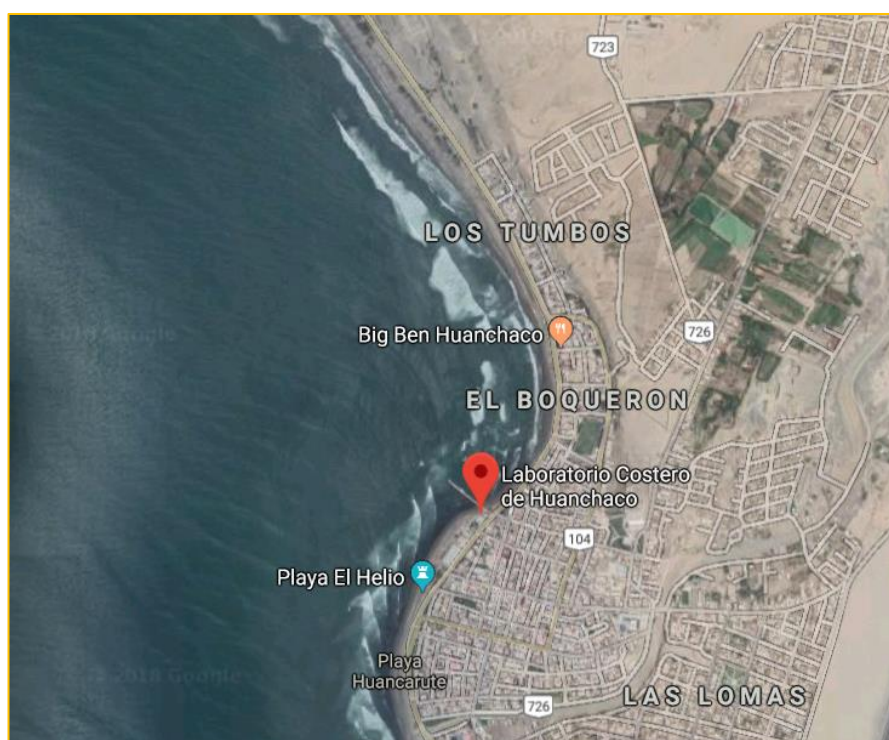


Figura c4. Ubicación laboratorio costero IMARPE-Huanchaco.  
Fuente: IMARPE

En este laboratorio se estudia el ambiente y la biodiversidad acuática y se monitorean los parámetros biológico pesqueros de los principales recursos que sustentan la pesca artesanal e industrial en el ámbito de influencia de IMARPE en Huanchaco a fin de lograr las bases científicas y técnicas en forma veraz y oportuna, para contribuir al

aprovechamiento racional de los recursos marinos, al incremento de la producción, a la salud del ambiente acuático y como consecuencia, al desarrollo socio-económico de la Región La Libertad.

Se realiza el monitoreo de los parámetros oceanográficos primarios, registro y colecta diaria de la temperatura superficial del mar y la salinidad superficial del mar en un punto fijo de Pacasmayo, Malabrigo, Huanchaco, Salaverry y Puerto Morín. Se colectan muestras de agua de mar interdiariamente para medir la concentración de oxígeno disuelto y potencial de hidrógeno.

#### v. Laboratorio costero de Chimbote

El Laboratorio Costero de Chimbote, es el órgano de apoyo técnico y científico del Instituto del Mar del Perú en el litoral de la Región Ancash, que tiene como misión realizar los estudios científicos de los recursos hidrobiológicos de las pesquerías de la región; así como de las condiciones ambientales oceanográficas marinas y continentales en la región.

Se encuentra en la Urbanización Nueva Caleta, en el Distrito de Chimbote, Provincia del Santa del Departamento de Ancash a 440 Km. al norte de la Ciudad de Lima.



*Figura c5.* Ubicación laboratorio costero IMARPE-Chimbote. Fuente: IMARPE.

En este laboratorio se evalúa sistemáticamente los parámetros oceanográficos de TSM, oxígeno disuelto, pH y salinidad, a fin de conocer sus variaciones en un punto fijo del litoral de Chimbote y se caracteriza los principales recursos que sustentan la pesquería pelágica, demersal costera, invertebrados marinos y diversidad biológico en el ámbito de la investigación del Laboratorio Costero de Chimbote, a través del monitoreo

permanente de sus parámetros biológicos y pesqueros. Monitorean la variabilidad espacio temporal de la captura, esfuerzo pesquero y captura por unidad de esfuerzo de la pesca artesanal e identificar unidades ecológicas-pesqueras homogéneas. Evalúan la calidad ambiental y diversidad biológica. Determinan las características oceanográficas frente a Chimbote en la prevención de la ocurrencia del evento El Niño/La Niña. Detectan y alertan de manera temprana las variaciones oceanográficas causadas por el evento “El Niño” y sus probables efectos sobre el ambiente marino y la estructura de las comunidades marinas.



*Figura c6.* Toma de muestras. IMARPE-Chimbote.

Fuente: IMARPE

#### **vi. Laboratorio costero de Huacho.**

El Instituto del Mar del Perú (IMARPE) a través del Laboratorio Costero de Huacho, desarrolla investigaciones en la Región Lima. Cuenta con una infraestructura física constituida por laboratorios de biología, oceanografía, sala de muestreo, laboratorios para el cultivo de camarón y peces, auditorio, sala de exhibición y oficinas para el personal técnico y profesional, encargados de ejecutar actividades de investigación científica.

Esta Sede se instaló oficialmente, el 21 de mayo de 1997 en el distrito de Carquín, teniendo como objetivo general proporcionar a las instituciones regionales competentes, las bases científicas y técnicas en forma veraz y oportuna, a fin de contribuir al aprovechamiento racional de los recursos marinos, a la salud del medio ambiente acuático y por ende al desarrollo socio económico de la Región Lima.



Figura c7. Ubicación laboratorio costero IMARPE-Huacho. Fuente: IMARPE

El objetivo de este laboratorio es el de obtener un conocimiento integral y actualizado de los parámetros biológicos y pesqueros de los principales recursos pelágicos, demersales, costeros e invertebrados en el ámbito de acción; relación con el medio ambiente y nivel de explotación para su integración a nivel nacional. Identificar y caracterizar el grado de contaminación en algunas bahías de la Región y evaluar la calidad ambiental en la zona marino costera de estas. Determinar las condiciones oceanográficas en Puntos Fijos y Línea de Base relacionadas con algunos patrones estacionales físicos-químicos. Conocer el estado biológico y poblacional, biomasa y aspectos oceanográficos en los bancos naturales con la finalidad de contribuir con el diagnóstico nacional.



Figura c83. Toma de muestras y análisis. IMARPE-Huacho

#### vii. Laboratorio costero de Pisco.

Se encuentra ubicado en la Calle: Los Libertadores A-12. Distrito de Paracas, Pisco. Este laboratorio se encarga de desarrollar investigaciones y monitoreos de recursos pesqueros, investigaciones biológicas, pesqueras y ecológicas, oceanografía costera, e investigaciones de la calidad del ambiente acuático en concordancia con los programas de investigación incursos en el Plan Operativo Institucional.



Figura c9. Ubicación laboratorio costero IMARPE-Pisco. Fuente: IMARPE.

En este laboratorio se determinan los principales parámetros de calidad acuática en estaciones determinadas de la bahía de Pisco. Identifican y cuantifican especies de fitoplancton de la comunidad fitoplanctónica marina de la bahía de Paracas. Contribuyen a la obtención de bases de datos para la elaboración de diagnósticos actualizados que permitan prevenir e identificar impactos en el área de estudio.

#### viii. Laboratorio costero de Camaná.

La región Arequipa, cuenta con el litoral más extenso del Perú de aproximadamente 528 km. en el cual se encuentran incluidos la totalidad de hábitats y especies propias de la eco-región del mar frío de la corriente peruana y donde se desarrollan actividades pesqueras de gran importancia socio-económica. El Laboratorio Costero se ubica en el Balneario Los Cerrillos I, en el distrito Samuel Pastor, provincia de Camaná, zona estratégica por encontrarse en la parte central del litoral arequipeño, desde el cual se monitorean las actividades de desembarque de la flota artesanal e industrial en los sectores de Matarani, Quilca, La Planchada, Atico y Lomas, en los cuales se registra una gran diversidad de especies para consumo humano directo, como peces e invertebrados marinos; así como el seguimiento de las 6 plantas de recepción de materia prima para la elaboración de harina y aceite de pescado existentes en el litoral de Arequipa.

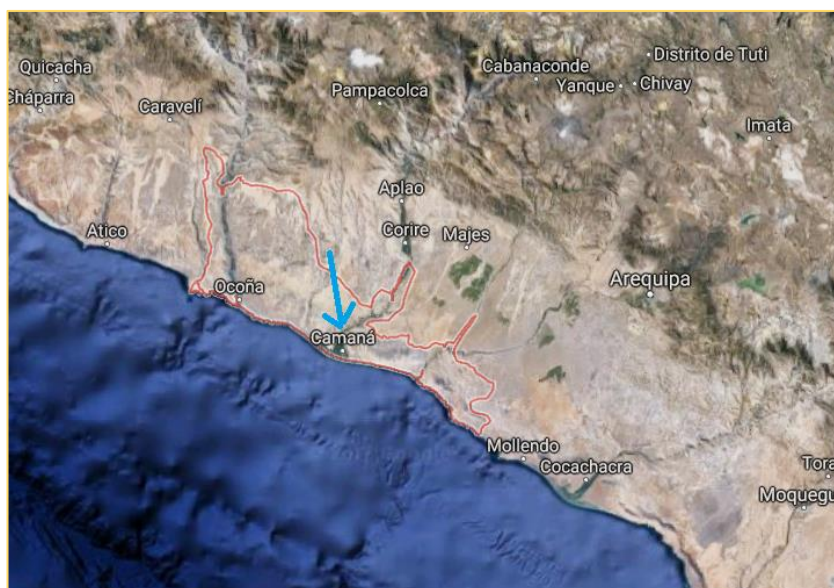


Figura c10. Ubicación laboratorio - costero IMARPE Camaná.  
Fuente: IMARPE.

Su objetivo principal es monitorear los indicadores biológico-pesqueros y su variación espacio temporal de los principales recursos pelágicos, demersales costeros e invertebrados marinos que sustentan la pesquería artesanal e industrial en el área entre Mollendo y Lomas. Evaluar algunos indicadores poblacionales de los principales recursos de fondo duro “macroalgas”, “erizo” y fondo blando “macha” en el litoral de la región Arequipa, que permita contar con información representativa para lograr su ordenamiento y explotación racional. Determinar las condiciones bio-oceanográficas en Puntos fijos y Línea de Base relacionadas con algunos patrones estacionales físico-químicos.

El monitoreo de la zona marítima de Matarani se realiza mediante investigaciones de las condiciones en las que se encuentran las variables físico-químicas como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales y biológicas tales como coliformes totales y coliformes termotolerantes , el área de Matarani está influenciada por la pesca artesanal e industrial.

#### **ix. Laboratorio costero de Ilo.**

La Sede del IMARPE en Ilo, tiene como jurisdicción las Regiones de Moquegua y Tacna realizando coordinaciones con los entes involucrados en el sector pesquero para el planteamiento y ejecución de proyectos que contribuyan al fortalecimiento de las pesquerías, para un aprovechamiento racional y sostenible, como mecanismo para el desarrollo socioeconómico del sector y las regiones. La Sede de IMARPE en Ilo, se encuentra ubicada en la Jr. Mirave 101 distrito y Provincia de Ilo Región Moquegua.



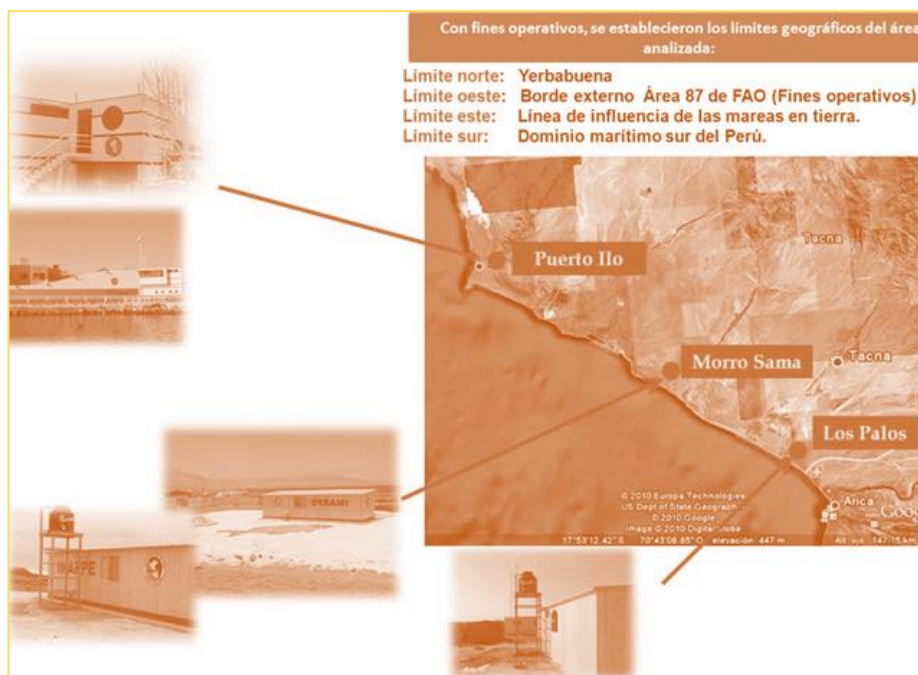


Figura c11. Ubicación laboratorio costero IMARPE-Ilo. Fuente: IMARPE.

En este laboratorio se realizan actividades de investigación científica de los recursos hidrobiológicos en las regiones de Moquegua y Tacna, referidos al:

- i. Seguimiento de las pesquerías pelágicas, demersales, litorales e invertebrados marinos.
- ii. Investigaciones sobre recursos de fondo duro (chanque, choro, macroalgas y pulpo) y fondo blando (macha) para un ordenamiento pesquero.
- iii. Caracterización de la Estructura Bentónica en el submareal somero del banco Natural de Punta Coles.
- iv. Evaluación de moluscos como bioindicadores de elementos químicos tóxicos.
- v. Monitoreo bio oceanográfico pesquero en el litoral sur del Perú.
- vi. Desarrollo de técnicas de cultivo para la obtención de juveniles en laboratorio y cultivo de engorde en medio natural; en concordancia con los Planes Operativos Institucionales.

Se determinan las condiciones oceanográficas y su interrelación con la distribución y concentración de los principales los recursos pesqueros y sus características biológicas en el litoral sur del Perú. Se realizan estudios de las características térmicas, químicas, índices de productividad e indicadores biológicos del ámbito marino en relación con

el conocimiento de la distribución y concentración de los principales recursos, para identificar la estructura por tamaños de anchoveta, camotillo, jurel, caballa y otras especies incidentales. Determinar la condición sexual de los principales recursos, relación longitud-peso y Factor de Condición y analizar relaciones de distribución de los recursos y variables oceanográficas (temperatura, salinidad, oxígeno) y evaluar el uso de esta información en la detección temprana de estructuras oceanográficas para la pesca.